

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ALCIONE HERMÍNIA DA SILVA

USO E MANEJO DO SOLO: IMPACTOS EM ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E
NAS PERDAS DE ÁGUA, SOLO E NUTRIENTES VIA ESCOAMENTO
SUPERFICIAL

CURITIBA

2016

ALCIONE HERMÍNIA DA SILVA

USO E MANEJO DO SOLO: IMPACTOS EM ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E
NAS PERDAS DE ÁGUA, SOLO E NUTRIENTES VIA ESCOAMENTO
SUPERFICIAL

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em
Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias,
Universidade Federal do Paraná, como requisito
parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência
do Solo.

Orientadora: Profª Drª. Nerilde Favaretto

Coorientadora(s): Profª. Drª. Karina M. V. Cavaliere
Polizeli

Drª. Lucília M. Parron Vargas

Coorientador: Prof. Dr. Jeferson Dieckow

CURITIBA

2016

Silva, Alcione Hermínia da

Uso e manejo do solo: impactos em atributos físicos do solo e nas perdas de água, solo e nutrientes via escoamento superficial. / Alcione Hermínia da Silva. - Curitiba, 2016.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.

Orientador: Nerilde Favaretto.

Coorientadores: Karina M. V. Cavalieri Polizeli; Lucília M. Parron Vargas; Jeferson Dieckow.

1. Agricultura - Manejo do solo. 2. Sistemas Agrícolas - Solos. 3. Solos - Características físicas. I. Favaretto, Nerilde. II. Polizeli, Karina M. V. Cavalieri. III. Vargas, Lucília M. Parron. IV. Dieckow, Jeferson. V. Título. VI. Universidade Federal do Paraná.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO
Mestrado e Doutorado



PARECER

A Banca Examinadora designada para avaliar a defesa da Tese de Doutorado de **ALCIONE HERMINIA DA SILVA**, intitulada: **"Uso e manejo do solo: Impactos em atributos físicos do solo e nas perdas de água, solo e nutrientes via escoamento superficial"**, do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após análise do texto e arguição do candidato, emitem parecer pela **"APROVAÇÃO"** da referida Tese. A candidata atende assim um dos requisitos para a obtenção do título de **Doutor em Ciência do Solo - Área de Concentração Solo e Ambiente**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 29 de agosto de 2016.

Prof. Dra. Nerilde Favaretto, Presidente

Prof. Dr. Cássio Antonio Tormena, Iº. Examinador

Prof. Dra. Lucília Maria Parron, IIº. Examinador

Prof. Dr. Jeferson Dieckow, IIIº. Examinador

Prof. Dra. Karina Maria Vieira Cavallieri Polizeli, IVº. Examinador

Ao meu esposo Frederico, pelo amor e companheirismo incondicionais.
Ao meu filho José, por me ensinar que quando vivemos algo acima do nosso
entendimento é preciso acreditar em algo maior que o acontecido. Acredito mais em
Deus e seus milagres.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Deus agradeço por cuidar dos detalhes da minha vida.

Aos meus Familiares: avós Fausto e Clara, pelo amor, educação e exemplo. Aos meus pais (*in memoriam*) e meu irmão Flávio; à família do meu esposo, pelo afeto familiar.

À minha orientadora Professora Nerilde Favaretto, por sempre ter acreditado nas minhas intenções, pela orientação, dedicação e paciência e aos co-orientadores: Professora Karina, pela amizade, incentivo e orientação; Professor Jeferson Dieckow, pela ajuda nos trabalhos de campo; Pesquisadora da Embrapa Lucilia M. Parron Vargas, pelo suporte e oportunidade em participar do projeto ServAmb.

Ao Professor Cassio A. Tormena por se disponibilizar em participar da defesa da tese e por contribuir com suas sugestões.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo-UFPR, pela formação e conhecimentos compartilhados.

Ao Henrique Ferrari (bolsista durante o projeto) e aos ajudantes de campo em Ponta Grossa-PR, principalmente o Sr Loir, pela ajuda e suporte, fundamentais para a execução deste trabalho.

Aos amigos e colegas de pós-graduação, Araújo, Juliana Marioti, Daniela Jerszurki, Daniel Pontoni, Joyce, Sônia, Gilson, Antônio, Veridiana, Reinaldo, Felipe e Manu, Bruno. Aos estagiários (Vinicius, Mireli, Bruna, Ana), que por amizade, me ajudaram muito.

Aos funcionários do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Josianne e Denise (pela amizade e carinho), Eveline, Maria, Osier, Marla, Cleusa, Roberto, Carla e Letícia, por todo apoio e presteza.

À Universidade Federal do Paraná, por intermédio do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade de realizar o curso de Doutorado e desenvolvimento deste trabalho.

Embrapa Florestas, através do Projeto ServiAmbi n. 02.11.01.031.00.01 e Termo de Cooperação Técnica Embrapa-lapar n. 21500.10/0008-2 e projeto Embrapa-MP2.

Ao Iapar e Embrapa (Unidade Serviços e Mercados) e Parque Estadual Vila Velha em Ponta Grossa-PR, por nos abrirem as portas e possibilitar essa pesquisa.

Ao CNPq, Reuni e Capes pelo apoio financeiro.

Agradeço, por fim, a todos que de algum modo contribuíram para a realização desse trabalho.

RESUMO

Sistemas agrícolas que reduzem o escoamento superficial e consequentemente o transporte de poluentes do solo para a água tem sido recomendado. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de sistemas de uso e manejo nos atributos físicos do solo e na qualidade da água do escoamento superficial. Os sete sistemas de uso e manejo do solo, localizados em Ponta Grossa-PR, foram dispostos num delineamento em blocos ao acaso com três repetições, totalizando 21 unidades experimentais. Os sistemas estudados foram: Integração Lavoura Pecuária sob plantio direto (iLP); Integração Lavoura-Pecuária-Floresta sob plantio direto (iLPF); Campo Nativo Pastejado (CNp); Plantio Direto com lavoura contínua (PD); Plantio de Eucalipto (EU); Floresta Nativa Secundária (FN); e Campo Nativo não Pastejado (CNnp). Para a qualidade física do solo foram avaliados todos os sistemas e para a qualidade da água foram avaliados quatro sistemas (iLP, iLPF, CNp e EU). As parcelas experimentais (36,1 m²) foram delimitadas por chapas de metal e o escoamento superficial coletado em galões de plástico após eventos de precipitação com produção de escoamento. Os atributos físicos do solo avaliados foram: estabilidade de agregados, infiltração da água no solo, porosidade, densidade do solo e condutividade hidráulica saturada. Os parâmetros analisados no escoamento superficial foram: perdas de solo e água e concentração e perda de fósforo solúvel e nitrogênio (nitrato e amônio). Os dados indicam que os sistemas de uso e manejo com maior biomassa e menor revolvimento do solo (FN, CNnp, CNp, EU) resultaram em melhor qualidade física. Entre os sistemas de produção agrícola sob plantio direto (iLP, iLPF e PD), o sistema PD apresentou os menores índices estruturais e hidráulicos do solo. Os sistemas de uso e manejo do solo influenciaram na qualidade da água do escoamento superficial, indicando que as perdas de água, solo e nutrientes, foram maiores nos sistemas agrícolas (iLP, iLPF) comparados aos sistemas não agrícolas (CNp e FN).

Palavras-chave: sistemas conservacionistas, atributos físicos do solo, escoamento superficial, perda de solo, nitrogênio, fósforo.

ABSTRACT

Agricultural systems that reduce surface runoff and consequently transport of pollutants from soil to water have been recommended. The objective of this work was to evaluate the effect of soil use and management systems on soil physical attributes and surface water quality. The seven systems of soil use and management, located in Ponta Grossa-PR, were arranged in a randomized block design with three replicates, totaling 21 experimental units. The systems studied were: Integrated Crop-Livestock under no-tillage (iLP); Integrated Crop-Livestock-Forest under no-tillage (iLPF); Grazed Native Grassland (CNp); No-tillage with continuous crops (PD); Eucalyptus (EU); Native Forest (FN) and Native Grassland no grazed (CNnp). For soil physical quality, all systems were evaluated and for water quality four systems were evaluated (iLP, iLPF, CNp and EU). The experimental plots (36.1 m²) were delimited by metal plates and the surface runoff collected in plastic gallons after rainfall events with runoff in at least one experimental plot. The soil physical attributes evaluated were: aggregate stability, soil water infiltration, porosity, soil density and saturated hydraulic conductivity. The parameters analyzed in the surface runoff were: soil and water losses and concentration and loss of soluble phosphorus and nitrogen (nitrate and ammonium). The data indicated that soil use and management systems with higher biomass and lower soil tillage (FN, CNnp, CNp, EU) resulted in better physical quality. Among the no-tillage systems (iLP, iLPF and PD), the PD system presented the lowest structural and hydraulic indexes. The soil use and management systems influenced the water quality of the runoff, indicating that water, soil and nutrient losses were higher in agricultural systems (iLP, iLPF) compared to non-agricultural systems (CNp and FN).

Key words: conservationist systems, soil physical attributes, surface runoff, soil loss, nitrogen, phosphorus.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	13
1.1 REFERÊNCIAS.....	14
2. CAPÍTULO 1: SISTEMAS DE USO E MANEJO DO SOLO: IMPACTOS EM ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO	17
2.1 RESUMO.....	17
2.2 ABSTRACT	18
2.3 INTRODUÇÃO	19
2.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	20
2.4.1 Caracterização das áreas de estudo	20
2.4.2 Amostragem do solo para avaliação dos atributos físicos	24
2.4.3 Análises físicas do solo	26
2.4.3.1 Estabilidade de agregados e granulometria	26
2.4.3.2 Densidade e porosidade do solo	27
2.4.3.3 Condutividade hidráulica do solo saturado e infiltração de água no solo	27
2.4.4 Análises estatísticas	27
2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
2.5.1 Atributos físicos do solo.....	28
2.5.1.1 Estabilidade de agregados	28
2.5.2.2 Densidade do solo (Ds), Porosidade total (Pt), Macro e Microporosidade	31
2.5.2.3 Condutividade hidráulica saturada (Ksat) versus Macro, Micro, Pt e Ds	35
2.5.2.4 Ksat e Infiltração da água no solo (VIB)	37
2.5.2.5 Análise de componentes principais dos atributos físicos.....	39
2.6 CONCLUSÕES	41
2.7 REFERÊNCIAS.....	41
3. CAPÍTULO 2: PERDAS DE ÁGUA, SOLO E NUTRIENTES POR ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM SISTEMAS DE USO E MANEJO DO SOLO	51
3.1 RESUMO.....	51
3.2 ABSTRACT	52
3.3 INTRODUÇÃO	53
3.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	55
3.4.1 Caracterização da área de estudo	55
3.4.2 Coleta do escoamento superficial	55

3.4.3	Determinação da perda de água e solo.....	56
3.4.4	Determinação de nutrientes	56
3.4.5	Análises Estatísticas.....	57
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
3.5.1	Perdas de água e solo.....	57
3.5.2	Concentração e perdas de nutrientes	64
3.5.2.1	Fósforo	64
3.5.2.2	Nitrato (N-NO ₃ ⁻) e Amônio (N-NH ₄ ⁺)	67
3.5.3	Análise de componentes principais relacionados com qualidade de água.....	69
3.6	CONCLUSÕES	72
3.7	REFERÊNCIAS.....	72
4.	CONCLUSÕES GERAIS	80
5.	REFERÊNCIAS GERAIS	81

1 INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura é uma atividade com grande potencial de degradação ambiental (Lal, 1994; Oldeman, 1994; FAO, 2013). Neste sentido, o desenvolvimento de sistemas produtivos com capacidade de manutenção da qualidade dos recursos naturais tem sido enfatizada. A agricultura conservacionista se destaca em relação à agricultura convencional em vários aspectos. Palm et al. (2013) destacam, nestes sistemas, a melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, afetando diretamente a qualidade dos recursos água e ar.

Dentre os sistemas conservacionistas de solo e água, se destacam os que promovem adequada proteção superficial do solo e aumento da matéria orgânica do solo (Derpsch et al., 1991). A melhoria da estrutura do solo (Castro filho et al., 1998; Jiao et al., 2006) e o aumento na infiltração da água (Sasal et al., 2010; Panachuki et al., 2011) promovem a diminuição do escoamento superficial (Cassol & Lima, 2003; Mello et al., 2003; Volk et al., 2004). No Brasil, nos últimos 20 anos, houve a consolidação da prática do plantio direto na palha e o avanço da complexidade ecológica desse sistema, associado com pecuária (integração lavoura-pecuária) (Moraes et al., 2014) e floresta (integração lavoura-pecuária-floresta) (Balbino et al., 2011). Estes sistemas integrados de produção agropecuária possibilitam a exploração diversificada da área concomitante à manutenção do material vegetal sobre a superfície do solo mesmo após a colheita.

Atributos físicos indicadores de qualidade do solo (Silva et al., 2010; Tormena et al., 1998; Cavalieri et al., 2011) e qualidade da água (Haygarth & Jarvis, 2002; Silveira et al., 2011) têm sido utilizados nas diferentes condições de uso e manejo do solo e são fundamentais para entender os processos de deterioração dos solos e potencial dos recursos hídricos. A busca por sistemas produtivos com capacidade de manutenção da qualidade dos recursos naturais tem aumentado em função da demanda por sustentabilidade agrícola e neste contexto, se insere a busca da valoração econômica do pagamento dos serviços ambientais como instrumento de conservação (Wunder, 2007). Porém, informações e estudos que envolvem sistemas agrícolas de maior complexidade ecológica são ainda escassos.

Os sistemas de uso e manejo do solo abordados no presente estudo (lavoura contínua sob Plantio Direto (PD), Integração Lavoura-Pecuária sob plantio

direto (iLP), Integração Lavoura Pecuária-Floresta sob plantio direto (iLPF), Campo Nativo Pastejado (CNp), Plantio de Eucalipto (EU), Campo Nativo não Pastejado (CNnp) e Floresta Nativa Secundária (FN)), apresentam diferentes níveis de complexidade ecológica, mas todos priorizam a manutenção da qualidade do solo e da água. Diversos autores (Balbino et al., 2011; Balbino et al., 2012, Porfírio da Silva, 2012), apontam os benefícios de sistemas integrados na produção agrícola e pecuária e destacam a importância de estudos voltados para a caracterização das contribuições destes sistemas na manutenção dos recursos naturais: solo, água e ar.

O projeto ServiAmbi, coordenado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), teve como objetivo a avaliação de indicadores e a valoração econômica dos serviços ambientais, em diferentes sistemas de uso e manejo do solo, associados à conservação do solo e água, conservação da biodiversidade, sequestro de carbono e produtividade dos sistemas. O presente estudo faz parte do projeto ServiAmbi, com objetivo geral de avaliar o efeito de sistemas de uso e manejo do solo nos atributos da qualidade física do solo e na qualidade da água de escoamento superficial.

A tese está dividida em dois capítulos, o primeiro refere-se às implicações dos diferentes sistemas de uso e manejo do solo em atributos físicos do solo, e o segundo sobre a qualidade da água via escoamento superficial.

1.1 REFERÊNCIAS

BALBINO, L. C.; BARCELOS, A. O. & STONE, L. F. Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta. Brasília, Embrapa Solos. 2011, 130 p.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; OLIVEIRA, P.; KLUTHCOUSKI, J.; GALERANI, P. R.; VILELA, L. Agricultura Sustentável por meio da Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF). Informações Agronômicas nº 138- Junho/2012. Piracicaba, International Plant Nutrition Institute- Brasil Embrapa Solos, 2012, 18 p.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. & PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio direto, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. Rev. Bras. de Ci. Solo, 22:527-538, 1998.

DERPSCH, R., ROTH, C.H., SIDIRAS, N. & KÖPKE, U. Controle da erosão no Paraná, Brasil. In: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista. Iapar, Londrina, 1991, 272p.

FAO, Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. Escassez e degradação dos solos e da água ameaçam segurança alimentar. Presente em: <https://www.fao.org.br/edsaasa.asp>. Consulta em 15/06/2014.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. & PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio direto, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. Rev. Bras. Ci. Solo, 22: 527-538, 1998.

CASSOL, E.A. & LIMA, V.L. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. Pesq. Agropec. Bras., 38: 117-124, 2003.

CAVALIERI, K. M. V.; CARVALHO, L. A. DE.; SILVA, A. P. DA.; LIBARDI, P. L. & TORMENA, C. A. Qualidade física de três solos sob colheita mecanizada de cana-de-açúcar. R. Bras. Ci. Solo, 35: 1541-1549, 2011.

HAYGARTH, P.M. & JARVIS, S.C. Agriculture, hydrology and water quality. CAB International, Cambridge. 2002, 502p.

JIAO, Y.; WHALEN, J. K. & HENDERSHOT, W. H. No-tillage and manure applications increase aggregation and improve nutrient retention in a sandy-loam soil. Geoderma, 134: 24-33, 2006.

LAL, R. Soil erosion research methods. In: Water Conservation Society. Second edition. 1994, p. 3-14.

MELLO, E.L.; BERTOL, I.; ZAPAROLLI, V. & CARRAFA, M.R. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um nitossolo háplico submetido à chuva simulada. Rev. Bras. Ci. Solo, 27: 901-909, 2003.

MORAES, A., CARVALHO, P.C.F., ANGHINONI, I., LUSTOSA, S.B.C., COSTA, S.E.V.G.A. & KUNRATH, T.R. Integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics. European Journal of Agronomy. 57:4-9, 2014.

OLDEMAN, L.R. The global extent of soil degradation. In: GREENLAND, D. J. & SZABOCLS, I. Soil Resilience and Sustainable Land Use (Eds.), Cab International, Wallingford, UK. 1994, p. 99-118.

PALM, C.; BLANCO-CANQUI, H.; CLERCK, F.; GATERE, L.; GRACE, P. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2013, 20 p.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; SOBRINHO, T. A.; OLIVEIRA, P. T. S. & RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 35: 1777-1785, 2011.

PORFÍRIO DA SILVA, V. Produtividade em Sistema de Integração Lavoura-Pecuária - Floresta no Subtropical Brasileiro. 2012. 119 p. (Tese Doutorado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.

SASAL, M. C.; CASTIGLIONI, M. G.; WILSON, M.G. Effect of crop sequences on soil properties and runoff on natural-rainfall erosion plots under no tillage. *Soil & Tillage Research*, 108: 24-29, 2010.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; JUNIOR, M. S. D.; IMHOFF, S.; KLEIN, V. A. Indicadores da qualidade física do solo. In: Física do Solo. Ed. Quirijn de Jong van Lier. SBCS, Viçosa. 2010, p. 241-280.

SILVEIRA, F. DE M.; FAVARETTO, N.; DIECKOW, J.; PAULETTI, V.; VEZZANI, F. M.; SILVA, E. D. B. Dejetos líquidos bovinos em plantio direto: perda de carbono e nitrogênio por escoamento superficial. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 35:1759-1768, 2011.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. & LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 22:573-581, 1998.

VOLK, L.B.S.; COGO, N.P. & STRECK, E.V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 28: 763-774, 2004.

WUNDER, S. The Efficiency of Payments for Environmental Services in Tropical Conservation. *Conservation Biology*, 21: 48-58, 2007.

2 CAPÍTULO 1: SISTEMAS DE USO E MANEJO DO SOLO: IMPACTOS EM ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

2.1 RESUMO

A qualidade do solo está diretamente relacionada aos serviços ambientais, os quais são fortemente influenciados pelo seu uso e manejo. Assim, esse trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de sistemas de uso e manejo do solo na estrutura do solo e atributos hidráulicos em diferentes profundidades. Os tratamentos consistiram em sete sistemas: Integração Lavoura-Pecuária sob plantio direto (iLP); Integração Lavoura-Pecuária-Floresta sob plantio direto (iLPF); Campo Nativo Pastejado (CNp); Plantio Direto com lavoura contínua (PD); Plantio de Eucalipto (EU); Floresta Nativa Secundária (FN) e Campo Nativo não Pastejado (CNnp). O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com sete tratamentos e três repetições, totalizando 21 unidades experimentais. O experimento foi conduzido em Ponta Grossa-PR em solos de textura franco arenosa e areia franca e relevo com declividades variando entre 3 a 13%. Os sistemas integrados de produção agrícola em plantio direto com rotação de culturas (aveia preta e trigo, no inverno, e soja e milho, no verão) foram estabelecidos há mais de 10 anos. Os atributos avaliados foram: estabilidade de agregados, infiltração da água no solo, porosidade (total, macro e micro), densidade do solo e condutividade hidráulica saturada. A coleta de solo foi realizada em 2013 em quatro profundidades (0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m). Os dados indicam melhor condição física nos sistemas com maior biomassa e cobertura do solo e menor revolvimento do solo (FN, CNnp, CNp, EU). Entre os sistemas de produção agrícola (iLP, iLPF e PD), o sistema PD com lavoura contínua apresentou os menores índices estruturais e hidráulicos do solo. Entre os sistemas integrados, houve tendência de melhor qualidade estrutural no iLP.

Palavras-chave: sistemas conservacionistas, estrutura do solo, atributos hidráulicos, sistemas integrados de produção agropecuária.

CHAPTER 1. SOIL USE AND MANAGEMENT SYSTEMS: IMPACTS ON SOIL PHYSICAL ATTRIBUTES

2.2 ABSTRACT

Soil quality is directly related to environmental services, which are strongly influenced by its use and management. Thus, the objective of this work was to evaluate the effect of soil use and management systems on soil structure and hydraulic attributes at different depths. The treatments consisted of seven systems: Integrated Crop-Livestock under no-tillage (iLP); Integrated Crop-Livestock-Forest under no-tillage (iLPF); Grazed Native Grassland (CNp); No-tillage with continuous crops (PD); Eucalyptus (EU); Native Forest (FN) and Native Grassland no grazed (CNnp). The experiment was carried out in Ponta Grossa-PR in sandy loam and loamy sand textures and slopes from 3 to 13%. Integrated agricultural systems under no-tillage with crop rotation (black oat and wheat in winter and soybean and corn in summer) were established more than 10 years ago. The attributes evaluated were: aggregate stability, water infiltration, porosity (total, macro and micro), soil density and saturated hydraulic conductivity. Soil sampling was performed in 2013 at four depths (0-0.05, 0.05-0.10, 0.10-0.20 and 0.20-0.30 m). The data indicated better physical condition in systems with higher biomass and soil cover and lower soil tillage (FN, CNnp, CNp, EU). Among the agricultural systems (iLP, iLPF and PD), the PD system with continuous tillage showed the lowest structural and hydraulic indexes. Among the integrated systems, there was a tendency for better structural quality in the iLP.

Key words: conservation systems, soil structure, hydraulic attributes, integrated agricultural systems.

2.3 INTRODUÇÃO

A qualidade do solo, definida como a capacidade do solo em sustentar a produtividade agrícola, manter a qualidade do ambiente e garantir a saúde humana, animal e das plantas (Doran & Parkin, 1994), está diretamente relacionada aos serviços ecossistêmicos fornecidos pelo solo (Palm et al., 2013), sendo estes fortemente influenciados pelo seu uso e manejo (Lal et al., 1999). A avaliação da qualidade do solo e, por conseguinte do fornecimento de serviços ecossistêmicos pode ser realizada de várias formas (Vezzani & Mielniczuk, 2009), dentre elas a análise de um conjunto de atributos físicos, químicos e biológicos (Doran & Parkin, 1994; USDA-ARS, 1998; Amado et al., 2007).

Indicadores de qualidade física do solo (Tormena et al., 1998; Silva et al., 2010; Cavalieri et al., 2011) são importantes quando se mostram sensíveis a possíveis alterações decorrentes aos diferentes sistemas de uso e manejo do solo (Doran & Zeiss, 2000). Tendo em vista o crescimento das plantas, como resposta ao indicador de qualidade, principalmente em áreas agrícolas, a utilização de indicadores relacionados com a retenção e disponibilidade de água no solo têm se destacado (Dexter, 2004; Silva et al., 1994; Silva et al., 2010). Neste contexto, a estabilidade estrutural e a infiltração de água, os quais afetam diretamente a perda de solo e consequentemente a qualidade da água, são atributos físicos recomendados na avaliação da qualidade do solo com ênfase na capacidade de resistir à erosão hídrica (Karlen & Stott, 1994; Lal, 1999). A atividade agrícola apresenta um grande potencial de degradação ambiental (Oldeman, 1994; Lal, 1999; Sharpley, 2002; FAO, 2011) e, portanto, nas últimas décadas, sistemas de uso e manejo com vistas na conservação do solo e da água têm sido intensivamente recomendados (Haygarth & Jarvis, 2002).

Dentre os sistemas conservacionistas de solo e água se destacam os que promovem adequada proteção superficial e aumento da matéria orgânica do solo (Derpsch et al., 1991). A melhoria da estrutura do solo (Castro filho et al., 1998; Jiao et al., 2006) e o aumento da infiltração da água (Sasal et al., 2010; Panachuki et al., 2011) promovem a diminuição do escoamento superficial (Cassol & Lima, 2003; Mello et al., 2003; Volk et al., 2004). No Brasil, a evolução no que se refere à conservação do solo e da água, redução do uso de insumos químicos e controle da

erosão, ocorreu principalmente com a adoção do sistema de plantio direto na palha iniciado na década de 70, no Sul do País. Nos últimos anos, observa-se a consolidação desta prática e o avanço da complexidade ecológica desse sistema, associando o plantio direto com pecuária (integração lavoura-pecuária) e floresta (integração lavoura-pecuária-floresta), também conhecido como Sistema Integrado de Produção Agropecuária (SIPA) (Moraes et al., 2002; Balbino et al., 2011; Moraes et al., 2014). Estes sistemas iLP e iLPF, possibilitam a exploração diversificada da área concomitante à manutenção do material vegetal sobre a superfície do solo mesmo após a colheita. Igualmente, áreas de campos nativos têm sido aproveitadas para o pastejo animal. Assim, dentro desse sistema de maior complexidade ecológica, os componentes de produção agrícola, florestal e animal, interagem contribuindo positivamente para sustentabilidade ambiental (Alvarenga et al., 2010 b).

A qualidade dos serviços ambientais fornecidos pela agricultura conservacionista varia de acordo com uma série de fatores, dentre eles, clima, solo e culturas, o que evidencia a necessidade de estudos para fortalecer a avaliação dos serviços ecossistêmicos provenientes da agricultura. Neste contexto, serviços ambientais são importantes, mas as informações e estudos que hoje envolvem sistemas agrícolas de elevada complexidade ecológica são escassos. Dessa forma, faz-se necessário avaliar os indicadores da qualidade do solo destes sistemas, considerando que essa avaliação é fundamental para entender os processos da deterioração do solo e dos recursos hídricos em propriedades rurais e bacias hidrográficas. A hipótese deste trabalho foi que os diferentes sistemas de uso influenciam os atributos físicos do solo. O objetivo foi avaliar o efeito dos sistemas (iLP, iLPF, CNp, PD, EU, FN e CNnp) na estrutura do solo e nos atributos hidráulicos em diferentes profundidades.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

2.4.1 Caracterização das áreas de estudo

As áreas de estudo estão situadas em Ponta Grossa, PR, região dos Campos Gerais, Segundo Planalto Paranaense (Figura 1) e apresentam substrato geológico composto por rochas sedimentares, pertencente à bacia hidrográfica do rio Tibagi

(IAPAR, 1978). Os tipos de solos variam entre Latossolo Vermelho e Cambissolos Háplicos profundos e bem drenados (Rachwal et al., 2015) com textura franco arenosa e areia franca. O relevo é suave ondulado, com declividades variando entre 3 e 13% (Tabela 1). A altitude média é 875 m, o clima é o Cfb – subtropical úmido, com temperaturas médias entre 13,9 °C e 21,4 °C sem estação seca definida, a precipitação pluvial total anual é de 1.523 mm ano⁻¹ e a evapotranspiração é de 823 mm ano⁻¹ (período entre 1954-1996), com chuvas bem distribuídas ao longo do ano (EMBRAPA, 2014). A vegetação original, fitofisionomia de campo natural estepe gramíneo-lenhosa e fragmentos de floresta de araucárias (capões), pertence ao ecossistema da Floresta Ombrófila Mista (Fritzsos et al., 2015).

FIGURA 1. Localização do Município de Ponta Grossa-PR



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Ponta_Grossa

Sete sistemas de uso e manejo do solo foram avaliados (Tabelas 1 e Figura 2): 1) iLP - Integração lavoura-pecuária sob plantio direto; 2) iLPF - Integração lavoura-pecuária-floresta sob plantio direto e 3) CNp - Campo nativo pastejado; 4) PD- Plantio direto com lavoura contínua; 5) EU- Plantio de eucalipto; 6) FN- Floresta nativa secundária; e 7) CNnp- Campo nativo não pastejado. Em todos os sistemas foram selecionados três blocos correspondendo a áreas de topo, terço médio e terço inferior. A delimitação das parcelas de estudo foi feita com aparelho de nível óptico..

Os sistemas iLP, iLPF e CNp foram localizadas na Estação Fazenda Modelo IAPAR, do Instituto Agronômico do Paraná (Figura 2 e 3), implantados em 2006. No passado essas áreas eram utilizadas com pastagens em manejo extensivo, com carga animal menor que 1 unidade animal ha⁻¹ ano⁻¹. O iLP refere-se ao sistema

integrado agropastoril sob plantio direto com 4,8 hectares (ha) enquanto que o iLPF refere-se ao sistema agrossilvipastoril sob plantio direto com 7,5 ha. Desde a sua implantação, os sistemas integrados de produção foram cultivados com rotação de culturas de verão e inverno, de maneira que um ano foi cultivado o milho (*Zea mays* L.), e no outro a soja (*Glycine max* (L.) Merr). No inverno cultivou-se aveia preta (*Avena strigosa*) e azevém (*Lolium multiflorum*) em consórcio sendo pastejado por novilhas da raça Purunã. A lotação de animais foi ajustada conforme a altura da pastagem (mínimo de 20 cm), sendo estas áreas divididas em piquetes. Informações sobre o histórico da área podem ser obtidos em Porfírio da Silva (2012). Informações sobre o manejo das áreas iLP e iLPF durante o período do presente estudo (fevereiro/2013 a março/2015) encontram-se na (Tabela 3).

Na área do iLPF, além do descrito anteriormente, foi estabelecido o cultivo de eucalipto (*Eucalyptus dunnii* Maiden), aroeira vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi) e grevilea (*Grevillea robusta* A. Cunn. Ex. R. Br.) plantadas em fila simples com espaçamento de 14 m x 3 m, alocadas transversalmente ao sentido do declive. As espécies arbóreas foram dispostas alternadamente na mesma linha de plantio (Porfírio da Silva, 2012).

No campo nativo pastejado (CNp) a atividade pecuária se estabeleceu há vários anos, porém, a carga animal foi muito variável. Nesta área não ocorreu preparo do solo e também não existiu uma frequência definida de entrada e saída dos animais, sendo utilizada principalmente na entressafra da primavera e outono quando as pastagens cultivadas estavam escassas (Parron et al., 2015).

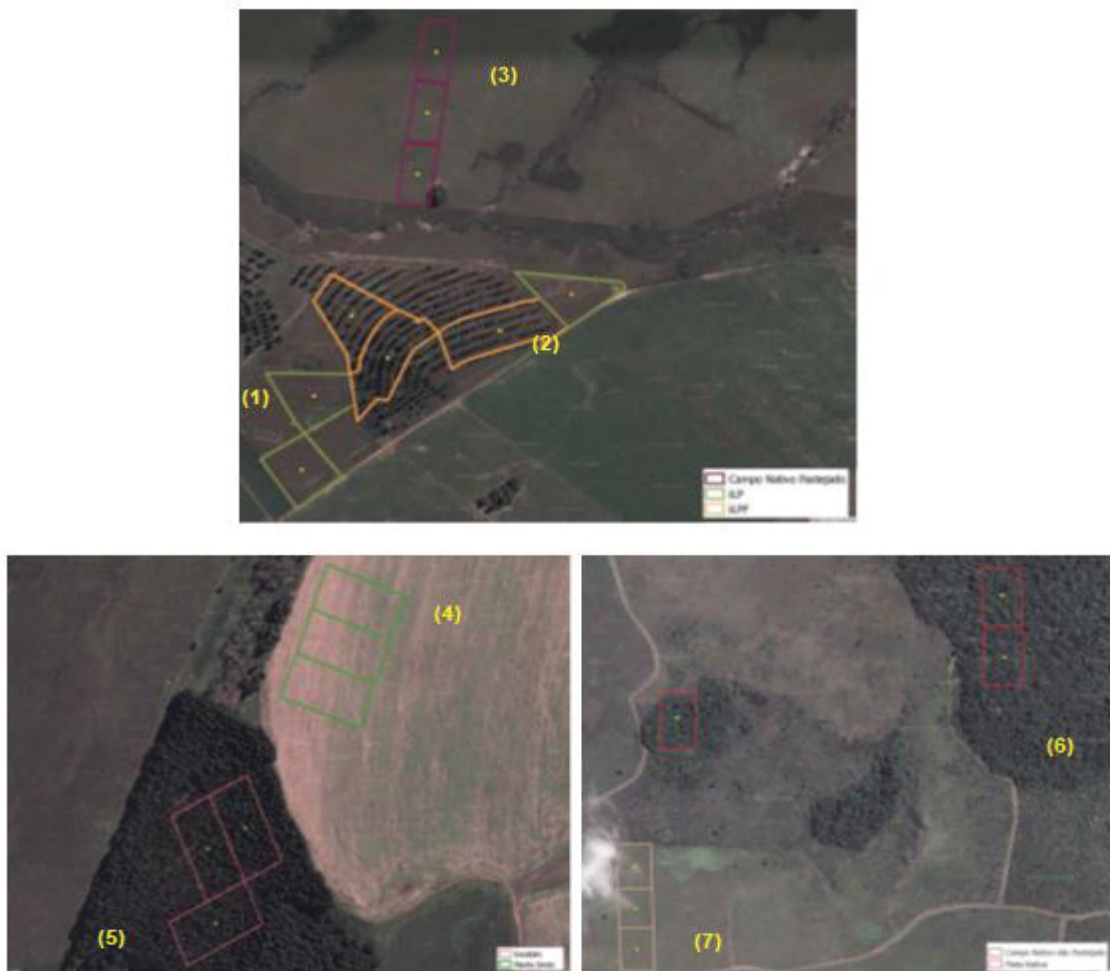
As áreas de plantio de eucalipto (EU) e plantio direto (PD) foram localizadas na Estação experimental da Embrapa - Produtos e Mercados em Ponta Grossa-PR (Figura 2). A área sob Plantio de eucalipto (EU) foi implantada em 1993 utilizando *Eucalyptus dunnii* com espaçamento de 3 m entre linhas e 2 m entre plantas (Andrade et al., 2003).

O sistema plantio direto (PD) com lavoura contínua iniciou em 1993, sob rotação das seguintes culturas: trigo – soja / aveia – milho / aveia – feijão, e tratos culturais com uso de insumos químicos (Parron et al., 2015).

As áreas de Floresta nativa secundária (FN) e Campo nativo não pastejado (CNnp) foram localizadas no Parque Estadual de Vila Velha (PEVV) (Figura 2). O parque foi tombado pelo Patrimônio Histórico e Artístico do Estado do Paraná em

1966 e cerca de 3.122 ha (INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ, 2004a). As áreas de estudo dentro do PEVV estavam localizadas na Mata da Fortaleza, com cerca de 180 ha de Floresta Ombrófila Mista de Montana e Campo Seco. A Mata da Fortaleza é um ambiente raro de conservação de vegetação florestal nos Campos Gerais. Sofreu exploração madeireira antes da criação do PEVV, caracterizada pela escassez de espécies de árvores da floresta madura e presença de espécies da fase sucessional intermediária (Parron et al., 2015). Contem espécies florestais importantes, como *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis*, *Tabebuia alba* e *Cabralea canjerana*. Na área do Campo nativo não pastejado (CNnp), a vegetação era de Campo Seco com estepe gramíneo-lenhosa, sendo as mais comuns as dos gêneros *Andropogon* e *Aristida* (INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ, 2004b).

FIGURA 2. Localização das áreas de estudo em Ponta Grossa-PR: (a): 1- Integração lavoura-pecuária (iLP); 2 -Integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF); 3 -Campo nativo pastejado (CNp) - Fazenda Modelo-Iapar. (b): 4-Plantio direto com lavoura contínua (PD) e 5-Plantio de Eucalipto (EU) - Estação Embrapa Produtos e Mercados; (c): 6- Floresta nativa secundária (FN) e 7- Campo nativo não pastejado CNnp – Parque Estadual Vila Velha.



FONTE: Parron et al. (2015).

FIGURA 3. Vista parcial dos sistemas: Integração lavoura-pecuária (iLP); Integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF); Campo nativo pastejado (CNp) e Plantio de Eucalipto (EU) em Ponta Grossa-PR.



2.4.2 Amostragem do solo para avaliação dos atributos físicos

Para a quantificação dos atributos físicos do solo, em cada parcela experimental, foi aberta uma trincheira para a coleta de amostras indeformadas de solo em anéis volumétricos com dimensões de 3,5 x 5 cm, em quatro profundidades: 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m. No total foram coletadas 336 amostras indeformadas, sendo quatro por profundidade, por parcela experimental (quatro amostras X quatro profundidades X sete sistemas X três blocos). Também foram coletados dois monólitos de solo (aproximadamente 10 x 20 cm) em cada profundidade para análise da estabilidade de agregados e determinação da granulometria do solo. As amostras foram coletadas em tempos distintos, as áreas iLP, iLPF e EU foram coletadas em novembro de 2012; a área CNp em fevereiro de 2013; o PD em agosto de 2013; FN e CNnp em novembro de 2013. Após a coleta em campo, as amostras foram embaladas em papel alumínio e armazenadas em ambiente refrigerado ($\sim 5^{\circ}\text{C}$) até serem processadas no laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Setor de Ciências Agrárias da UFPR.

TABELA 1. Localização e caracterização dos sistemas de uso e manejo do solo: iLP - integração lavoura-pecuária, iLPF - integração lavoura-pecuária-floresta, CNp - campo nativo pastejado, PD - plantio direto com lavoura contínua, EU - plantio de eucalipto, FN- Floresta nativa secundária e CNnp- Campo nativo não pastejado.

Sistemas	Estação Experimental	Localização		Declividade	Granulometria ¹			
					(g kg ⁻¹)			Classe textural (USDA/Embrapa)
					Argila	Silte	Areia	
iLP	IAPAR	595644	7220878	3,0-10,0	147	128	726	Franco arenosa
iLPF	IAPAR	595854	2221081	4,7- 13,2	123	133	744	Franco arenosa
CNp	IAPAR	595762	7221381	6,6-11,2	71	103	827	Areia franca
PD	EMBRAPA	592823	7219478	4,0-8,0	176	166	658	Franco arenosa
EU	EMBRAPA	592650	7219163	5,8-11,1	156	115	729	Franco arenosa
FN	PEVV	2765357	399082	5,0-11,0	128	124	749	Franco arenosa
CNnp	PEVV	2765357	399082	6,0-14,0	64	110	826	Areia franca

¹ Média ponderada de 0-0,3 m. PEVV= Parque Estadual Vila Velha.

TABELA 2. Atributos químicos da camada de 0-0,25 m nos sistemas de uso e manejo do solo: iLP - integração lavoura-pecuária, iLPF - integração lavoura-pecuária-floresta, CNp - campo nativo pastejado, PD - plantio direto com lavoura contínua, EU - plantio de eucalipto, FN- Floresta nativa secundária e CNnp- Campo nativo não pastejado.

Sistemas	pH	Ca	Cl ₂	Al	Al+H	Ca	Mg	K	CTC	V	C	N	P
	cmol _c dm ⁻³							%		g kg ⁻¹			
iLP	4.52	0.42	4.31	1.04	0.62	0.14	6,12	29.50	10,14	0,77	2.73		
iLPF	4.52	0.32	4.52	1.42	0.66	0.08	6,68	32.34	9,02	0,70	3.68		
CNp	3.88	1.21	5.91	0.41	0.23	0.06	6,61	10.70	10,72	0,75	1.44		
PD	4.59	0.37	4.11	1.13	0.59	0.26	6,09	32.51	9,95	0,77	5.81		
EU	3.80	1.70	6.28	0.20	0.13	0.03	6,64	5.44	9,97	0,71	1.68		
FN	3.74	2.73	12.89	1.01	0.38	0.10	14,38	10.33	32,90	2,48	1.93		
CNnp	3.92	1.66	6.22	0.25	0.16	0.06	6,70	7.14	9,35	0,72	1.08		

Fonte: Ferreira (2015).

TABELA 3. Principais manejos das culturas nos sistemas iLP - integração lavoura-pecuária e iLPF - integração lavoura-pecuária-floresta no período do estudo (2012–2015).

Safr	Cultura	Plantio/Adubação	Adubação (kg ha ⁻¹)				Colheita
			Plantio			Cobertura	
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	(N)	
Verão 2012/2013	Soja	15/11/2012	0	80	80	0	17/04/2013
Inverno 2013	Aveia+Azevém	25/04/2013	16	120	40	90 (junho)	
Verão 2013/2014	Milho	13/11/2013	40	120	40	125 (novembro)	07/05/2014
Inverno 2014	Aveia+Azevém	21/05/2014	16	120	40	90 (junho)	
Verão 2014/2015	Soja	02/12/2014	0	80	80	0	14/04/2015

Manejo de agroquímicos: 13 a 19/04/13 - Dessecação 3 L ha⁻¹ Glifosato; 1ª quinzena de Junho/2013 - Herbicida Ally (4 g ha⁻¹) + 250 mL óleo mineral; 07/10/13 – Calagem (500 kg ha⁻¹) de calcário dolomítico; 25 a 30/10/13 - Dessecação 3 L ha⁻¹ Glifosato + 1 L ha⁻¹ Folisuper.

2.4.3 Análises físicas do solo

2.4.3.1 Estabilidade de agregados e granulometria

Os monólitos coletados foram desagregados manualmente e passados por peneira de 8 mm de abertura de malha. A estabilidade de agregados via seca e úmida foi conforme Kemper & Rosenau (1986) e EMBRAPA (1997). O cálculo do diâmetro médio ponderado dos agregados seco (DMPs) e o diâmetro médio ponderado dos agregados úmido (DMPu) foi de acordo com a expressão:

$$DMP = \sum_{i=1}^n (u_i \times W_i)$$

Em que DMP = diâmetro médio ponderado (mm); ai = diâmetro médio entre classes (mm); e wi = fração em peso da classe em relação ao peso da amostra total.

O índice de estabilidade de agregados (IEA) foi calculado dividindo diâmetro médio ponderado úmido pelo diâmetro médio ponderado seco (DMPu/DMPs).

Para a determinação da textura do solo (areia, silte e argila) utilizou-se o método do densímetro de Bouyoucos (Gee & Bauder, 1986).

2.4.3.2 Densidade e porosidade do solo

As amostras indeformadas de solo foram saturadas, pesadas e submetidas à uma tensão de 60 hPa em uma mesa de tensão. Ao atingirem o equilíbrio na tensão de 60 hPa, equivalente à retenção de água em poros com 50 µm de diâmetro, as amostras foram pesadas e levadas à estufa a 105°C por 48 h, para obtenção da massa seca do solo. A porosidade total (Pt) foi determinada através do conteúdo de água volumétrico obtido na saturação, a microporosidade (Micro) foi equivalente ao

conteúdo de água volumétrico retido na tensão de 60 hPa e, a macroporosidade (Macro) foi calculada pela diferença entre a Pt e a Micro.

Para a densidade do solo (Ds) considerou-se a relação (Ds= massa de solo seco/ volume do cilindro), conforme Blake & Hartge (1986).

2.4.3.3 Condutividade hidráulica do solo saturado e infiltração de água no solo

As amostras indeformadas de solo foram submetidas à saturação através da elevação gradual de uma lâmina de água até atingir 2/3 da altura do anel. Após a saturação, as amostras foram submetidas a uma carga hidráulica para a obtenção da condutividade hidráulica saturada (Ksat). O método utilizado foi o da carga decrescente (Reynolds & Elrick, 2002), com adaptações ilustradas em Cavalieri (2007), o deslocamento de água ocorre sobre a amostra indeformada de solo, de altura L, no tempo t, entre duas alturas (h0 e h1), obtendo-se a Ksat através da equação (1):

$$K_{sat} = (L/t) \ln (h_0/h_1) \quad (1)$$

Onde L, h0 e h1 são alturas (m); t é tempo (s) e Ksat em m s⁻¹ ou mm h⁻¹.

A determinação da infiltração de água no solo foi realizada a campo com dois testes para cada parcela segundo a metodologia de infiltrômetros de anéis concêntricos (Bouwer, 1986). Em cada parcela foram instalados dois conjuntos de anéis constituídos de um anel interno outro externo com (20 e 40 cm de diâmetro), respectivamente. O método consistiu em manter uma lâmina de água durante o tempo de avaliação, para leituras do consumo de água a cada intervalo de tempo, sendo: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 75, 90, 105, 120, 135 e 150 minutos após o início da infiltração. Para a determinação da taxa de infiltração básica (VIB), considerou o valor final da leitura (150 minutos), aonde a infiltração da água no solo apresentou comportamento constante.

2.4.4 Análises estatísticas

Os valores de estabilidade de agregados (DMPs, DMPu e IEA), Ds, Pt, macro e microporosidade, Ksat e VIB foram analisados no programa R-CRAN sendo utilizado o teste de Tukey a 5% de significância e coeficiente de Spearman (ρ) para dados não paramétricos. Os atributos físicos do solo foram agrupados entre os

sistemas de uso e manejo a partir da análise de componentes principais (ACP) no programa CANOCO 4.1.

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.5.1. Atributos físicos do solo

2.5.1.1 Estabilidade de agregados

Os valores do índice de estabilidade de agregados (IEA), do diâmetro médio ponderado seco (DMPs) e úmido (DMPu) são apresentados na Figura 4. O índice de estabilidade de agregados (IEA) obtido pela relação $DMPu/DMPs$ (Figura 4 a) foi maior, de modo geral, nos sistemas não agrícolas (CNp, CNnp, EU, FN), com valores médios de (0,85;0,80;0,76 e 0,75), respectivamente. Os sistemas agrícolas, seguiram a ordem (iLP, iLPF e PD) com (0,74; 0,72 e 0,61), respectivamente. A complexidade ecológica dos sistemas teve grande importância na estabilização dos agregados, estando de acordo com Vezzani & Mielniczuk (2011). Os sistemas CNp, CNnp e FN apresentaram ao longo do perfil amostrado (0-0,30 m) os maiores valores de IEA e uma menor variação em relação aos sistemas iLP, iLPF e PD, mostrando a melhor qualidade estrutural do solo, provendo assim vários benefícios associados aos serviços ecossistêmicos do solo.

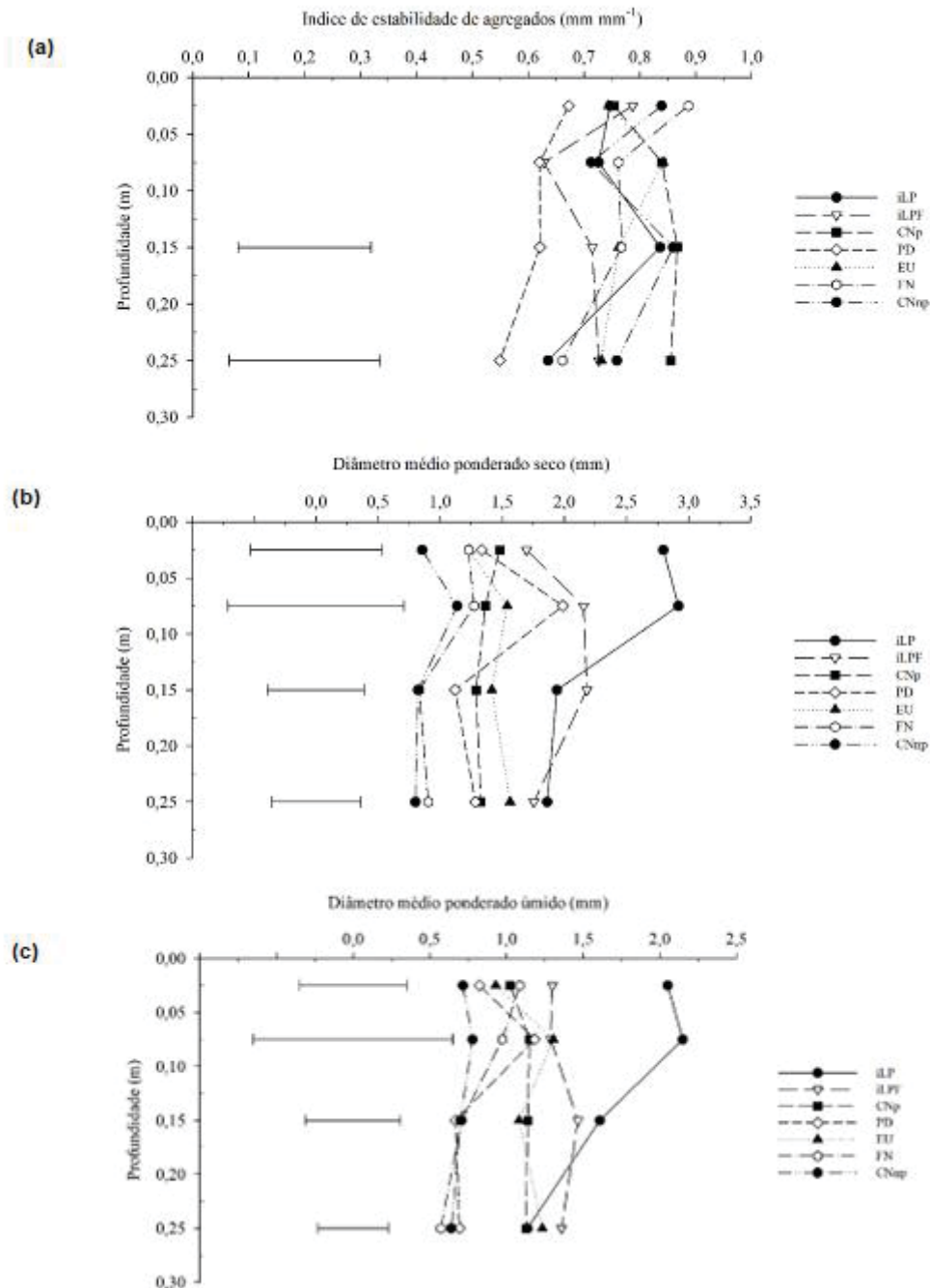
A agregação é afetada diretamente pela presença da matéria orgânica, através da quantidade e de sua qualidade e, especialmente, por ser o agente cimentante mais dependente do manejo de solo e plantas (Reinert & Reichert, 2006), porém ela é dependente da textura e mineralogia dos solos (Bayer & Mielniczuk, 2008). O teor de argila exerce forte influência na agregação dos solos, devido à elevada superfície específica e à presença de cargas negativas permanentes (Dufranc et al., 2004). Apesar do maior aporte de material orgânico no solo e maior diversidade de vegetação, as áreas FN, CNnp, CNp e EU apresentaram menores valores de DMPs e DMPu em todas as profundidades. Nestes sistemas, a percentagem de argila é menor comparada aos sistemas de produção agrícola (iLP, iLPF e PD) (Tabela 1), o que possivelmente afetou o tamanho dos agregados. Portanto, mesmo pequenas variações na fração argila podem interferir na formação dos agregados e consequentemente no diâmetro médio ponderado (Dutartre et al., 1993). No entanto, possíveis efeitos da textura são

eliminados quando se analisa o índice de estabilidade, o qual representa a relação DMPu/DMPs.

O CNnp e FN são considerados sistemas de referência e, portanto, esperava-se maior índice de estabilidade de agregados em comparação com os sistemas de uso agrícola. O maior IEA no CNp, CNnp, FN e EU (Figura 4) indica melhor estabilidade, possivelmente pelo elevado aporte de carbono e não revolvimento do solo comparado aos sistemas agrícolas, mesmo sob plantio direto e integração lavoura-pecuária. De forma geral, nessas condições, observa-se o aumento dos teores de matéria orgânica e, conseqüentemente, o aumento da agregação do solo (Tisdall & Oades, 1982). O CNp, apesar de pastejado, demonstrou potencial para a manutenção da estabilidade dos agregados, confirmando as observações de Costa et al. (2009). Eles estudaram um Cambissolo Húmico avaliando as propriedades físicas do solo durante a transição do campo nativo pastejado para integração lavoura-pecuária no sistema plantio direto, constataram que, comparado ao preparo convencional, a transição preservou a qualidade física do solo, enquanto que para o preparo reduzido o desempenho foi intermediário.

Comparando os sistemas integrados, houve uma tendência de maior estabilidade no iLP nas camadas superficiais (0-0,05 m), enquanto que em profundidade (0,20-0,30 m) no iLPF o IEA foi maior. Resultados diferentes foram obtidos por Albuquerque et al. (2005), que avaliaram a estabilidade dos agregados de um Latossolo Vermelho cultivado com preparo reduzido e convencional com utilização de plantas de cobertura. Os autores registraram maior IEA na camada de 0,05–0,1 m comparada à camada de 0–0,05 m no plantio convencional. Já, em períodos mais longos, as características físicas do solo foram melhoradas devido às plantas de cobertura, associadas aos preparos conservacionistas.

FIGURA 4. Índice de estabilidade de agregados (IEA) (a), diâmetro médio ponderado seco (DMPs) (b) e diâmetro médio ponderado úmido (DMPu) (c) nos sistemas de integração lavoura-pecuária (iLP); integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF); campo nativo pastejado (CNp); plantio direto (PD) plantio de eucalipto (EU); floresta nativa secundária (FN) e campo nativo não pastejado CNnp. Barra horizontal é a diferença mínima significativa (DMS) obtida pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$).



Entre os sistemas agrícolas, o PD apresentou menor índice de estabilidade em todas as profundidades ($< 0,7$ mm Figura 4 c). Contudo, em estudo desenvolvido

por Costa et al. (2003) esse sistema de manejo, comparado ao preparo convencional, tem proporcionado melhorias nos atributos físicos do solo.

2.5.2.2. Densidade do solo (Ds), Porosidade total (Pt), Macro e Microporosidade

Os valores de densidade (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (macro) e microporosidade do solo (micro) do solo estão apresentados na Tabela 4.

TABELA 4. Atributos físicos do solo nos sistemas de Integração Lavoura Pecuária (iLP); Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF); Campo Nativo Pastejado (CNp); Plantio de Eucalipto (EU); Floresta nativa secundária (FN) e Campo Nativo não pastejado (CNnp). CV=coeficiente de variação.

Sistemas de uso								
Atributos físicos do solo	iLP	iLPF	CNp	PD	EU	FN	CNnp	CV(%)
0-0,05 m								
Ds (Mg m ⁻³)	1,48 a	1,52 a	1,50 a	1,36 a	1,30 a	0,92 b	1,32 a	14,93
Pt (m ³ m ³)	0,44 b	0,43 b	0,43 b	0,49 b	0,51 b	0,65 a	0,50 b	15,96
Macro (m ³ m ³)	0,10 ab	0,11 ab	0,08 b	0,11 ab	0,20 ab	0,33 a	0,26 ab	65,31
Micro (m ³ m ³)	0,33 ab	0,33 ab	0,35 ab	0,38 a	0,31 ab	0,32 ab	0,24 b	21,78
0,05-0,10 m								
Ds (Mg m ⁻³)	1,56 a	1,57 a	1,48 a	1,58 a	1,41 ab	1,24 b	1,46 a	10,66
Pt (m ³ m ³)	0,41 b	0,46 ab	0,44 ab	0,40 b	0,47 ab	0,53 a	0,45 ab	13,4
Macro (m ³ m ³)	0,10 b	0,09 b	0,09 b	0,10 b	0,10 b	0,27 a	0,18 ab	58,1
Micro (m ³ m ³)	0,31abc	0,31abc	0,34 ab	0,35 a	0,35 a	0,26 c	0,27 bc	20,14
0,10-0,20 m								
Ds (Mg m ⁻³)	1,49 a	1,58 a	1,45 a	1,46 a	1,43 a	1,25 b	1,54 a	9,5
Pt (m ³ m ³)	0,44 a	0,45 a	0,45 a	0,45 a	0,46 a	0,53 a	0,42 a	17,48
Macro (m ³ m ³)	0,12 a	0,10 a	0,14 a	0,12 a	0,09 a	0,20 a	0,14 a	43,68
Micro (m ³ m ³)	0,32 a	0,32 a	0,31 a	0,33 a	0,35 a	0,33 a	0,28 a	17,53
0,20-0,30 m								
Ds (Mg m ⁻³)	1,48 a	1,46 a	1,38 a	1,36 ab	1,42 ab	1,18 b	1,50 ab	8,62
Pt (m ³ m ³)	0,44 b	0,45 b	0,48 ab	0,49 ab	0,46 ab	0,55 a	0,43 b	9,8
Macro (m ³ m ³)	0,11 b	0,16 ab	0,19 ab	0,11 b	0,16 ab	0,23 a	0,16 ab	35,01
Micro (m ³ m ³)	0,36 a	0,29 a	0,29 a	0,36 a	0,32 a	0,33 a	0,27 a	14,71

Ds - Densidade do solo; **Pt** - Porosidade Total; **Macro** - Macroporosidade ; **Micro** – Microporosidade. Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade (P<0,05).

Independente da camada de solo avaliada, os valores médios de Ds, Pt e Macroporosidade foram indicadores de melhor qualidade física no sistema FN, o

qual é considerado o sistema de maior complexidade ecológica dentre todos os sistemas de uso estudados. O teor de carbono presente neste sistema (Tabela 2) pode ter contribuído para estes resultados, uma vez que para FN o teor de carbono chega a ser três vezes maior que para os demais sistemas. Padua et al. (2015), encontraram correlação inversa entre densidade do solo e o teor de carbono orgânico, fato este explicado pela baixa densidade de partículas e ação cimentante do carbono orgânico em macroagregados, aumentando a macroporosidade do solo. Já para os outros sistemas, os resultados foram similares apresentando algumas diferenças significativas entre sistemas de uso dentro de algumas camadas.

Na camada de 0-0,05 m, Ds e Pt não diferiram entre os sistemas de uso iLP, iLPF, CNp, PD, EU, CNnp enquanto que o CNp mostrou o menor valor médio de macroporosidade quando comparado ao FN, o qual, contudo não diferiu dos demais sistemas. A microporosidade apresentou o maior valor médio para o PD, diferindo apenas do CNnp que obteve o menor valor médio. As pressões aplicadas pelo pisoteio dos animais ocasionam alterações na densidade e na porosidade do solo, principalmente à profundidade de 0 0,05 m (Bertol et al., 2000; Miguel et al., 2009). Resultados similares foram obtidos por Santos et al. (2011), onde os maiores valores de densidade do solo foram observados na camada superficial, indicando que o uso intensivo do solo com pastagem promove a sua compactação. Na camada de 0,05-0,10 m a Ds no sistema EU foi estatisticamente igual ao FN, porém não diferiu dos demais sistemas. Para a macroporosidade, contudo, foi o CNnp que não diferiu do FN e para a micro, iLP, iLPF, CNp, PD e EU foram os que obtiveram os maiores valores médios.

Na camada de 0,10-0,20 m foi constatada diferença significativa apenas para a Ds, sendo o menor valor médio para FN. Para a camada de 0,20-0,30 m a Ds nos sistemas PD, EU, FN, CNnp foram estatisticamente iguais, contudo, com exceção de FN os outros sistemas apresentaram valores similares. O mesmo ocorreu para Pt, porém, o CNp também foi estatisticamente igual ao PD, EU, FN, CNnp. Para a macroporosidade os menores valores médios foram encontrados no iLP e PD, diferindo apenas do FN. A micro nesta camada foi igual para todos os sistemas.

Nos sistemas EU e CNnp houve um incremento da Ds em profundidade, com valores variando entre 1,30-1,42 e 1,3-1,5 Mg m⁻³, respectivamente. Já no sistema sob CNp, a Ds diminuiu em profundidade apresentando 1,5 – 1,3 Mg m⁻³. Para os

sistemas agrícolas integrados (iLP e iLPF), houve um aumento na camada de 0,05-0,10 m com valores médios de (1,57 Mg m⁻³). Esses valores foram próximos ao PD nesta camada. Contudo, nas outras camadas o PD sempre apresentou valores mais baixos que os integrados iLP e iLPF, indicando efeito do manejo nas diferentes profundidades. Provavelmente o efeito do tráfego repetido de implementos agrícolas tem se concentrado na camada de 0,05-0,10 m. Os resultados deste estudo diferem de Wendling et al. (2012), que verificaram compactação na profundidade de (0,10-0,20 m), confirmando que em manejos onde o sistema de uso está sob plantio direto, comumente tem sido identificado potencial para compactação em camadas superficiais. Em contrapartida, o solo da área de floresta secundária (FN) apresentou a menor Ds em todas as profundidades analisadas (Tabela 4). Por ser um sistema sem tráfego de máquinas e com alto aporte de matéria orgânica, é esperado que os valores médios de Ds sejam reduzidos em comparação com os outros sistemas.

O maior valor de Ds foi de 1,58 Mg m⁻³, na camada de 0,10-0,20m do ILPF e 0,05-0,10m no PD mas segundo Araujo et al. (2004), não indica compactação restritiva para o crescimento radicular das plantas, a qual está associado a densidades em torno de 1,65 Mg m⁻³ para solos arenosos. No CNp, apesar da presença do animal, o sistema radicular das plantas possivelmente contribuiu para a redução da Ds, confirmando o índice de estabilidade de agregados (Figura 4). Em áreas de pastagens é comum a presença de camadas compactadas e com agregados estáveis em água de menor tamanho devido ao pisoteio dos animais (Miguel et al., 2009).

A presença dos animais no campo nativo (CNp) parece não resultar na diminuição da qualidade física do solo. Apesar dos maiores valores de densidade na camada superficial em relação ao iLP e iLPF (cujas áreas tem animais durante 3 a 4 meses ao ano), este sistema apresentou valores inferiores ao CNp em profundidade, assim, o CNp não foi comprometido como sistema referência por ser pastejado. Deve-se considerar que qualquer sistema com pastejo e uso de implementos agrícolas tem potencial para comprometer a qualidade física do solo. Apesar da manutenção da qualidade de alguns atributos físicos, observações em campo mostram a fragilidade do sistema CNp, com presença de sulcos causados pelo pastejo animal.

A porosidade total do solo (P_t), indica o conteúdo de espaço vazio entre as partículas de solo (Klein & Libardi, 2002), como uma relação inversa ao descrito anteriormente sobre a D_s . A P_t teve pouca variação entre os sistemas de uso do solo nas profundidades estudadas (Tabela 4), entretanto, as maiores diferenças em todas as profundidades foram nos sistemas com o mínimo de impacto de manejo (FN e CNnp). O sistema EU apresentou os valores de P_t ($0,51-0,46 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) próximos ao sistema sob FN ($0,65-0,53 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), com os maiores valores nas camadas mais superficiais; e superiores ao CNnp ($0,50-0,43 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Já o CNp em profundidade apresentou valores maiores que o CNnp. A manutenção da porosidade do solo na área sob pastagem nativa ocorre, provavelmente, por não ter havido revolvimento contínuo do solo, bem como em razão do sistema radicular da gramínea e de invertebrados edáficos, que podem ter contribuído para melhoria da sua estrutura física (Santos et al., 2011). Entre os sistemas agrícolas sob semeadura direta, a porosidade total na camada de $0,05-0,10 \text{ m}$ no sistema iLP, foi a menor em comparação aos demais, enquanto que abaixo de $0,10 \text{ m}$ os valores médios foram muito próximos. Segundo Laurindo et al. (2009), o arranjo natural do solo pelo seu não revolvimento, a movimentação de máquinas e implementos agrícolas ocasiona redução da porosidade total na camada superficial.

Considerando a macroporosidade menor que $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ sendo limitante ao crescimento e desenvolvimento de plantas, os sistemas iLP, iLPF e PD que possuem similaridades no manejo, como a ausência de revolvimento do solo e reduzido tráfego de máquinas, obtiveram valores médios muito próximos ao limitante, nas camadas de $0-0,05$, $0-0,5-0,10$ e $0,10-0,20 \text{ m}$, e foram limitantes para os sistemas CNp, na camada $0-0,05 \text{ m}$; iLPF, CNp, na camada de $0,05-0,10 \text{ m}$; e EU na camada de $0,10-0,20 \text{ m}$.

O pisoteio animal tende a contribuir para a redução da macroporosidade, devido à compactação do solo, causada principalmente nas camadas mais superficiais (Santos et al., 2011). Outro fator que pode contribuir para a redução da macroporosidade é a ausência de revolvimento do solo, aliado ao tráfego repetido ao longo dos anos, nos sistemas integrados e PD, os dados obtidos estão de acordo com Bertol et al. (2000), onde o sistema de semeadura direta promoveu aumento na densidade do solo na camada de $0-0,5 \text{ m}$, com consequente diminuição na macroporosidade. Em relação à microporosidade, o sistema PD, na camada de $0-$

0,05 m, apresentou os maiores valores médios de micro, principalmente em relação ao CNnp, onde foi estatisticamente diferente.

A Pt variou pouco em profundidade, mas modificou-se onde o manejo antrópico é praticamente inexistente (FN). Como a Pt é constituída pela macro e microporosidade, muitas vezes o uso e manejo do solo podem alterar a relação entre os mesmos, mas não necessariamente a Pt. A porosidade total é menos influenciada pelo sistema de manejo do que a macro e microporosidade, já que ela depende do efeito combinado das duas (Bertol et al., 2000). Por isso, as diferenças da macro e micro nas profundidades estudadas, foram mais evidentes que a Pt. De forma geral, a macro foi reduzida nos sistemas agrícolas integrados comparado aos sistemas em condição natural (FN, CNnp). Já a micro foi semelhante aos sistemas naturais.

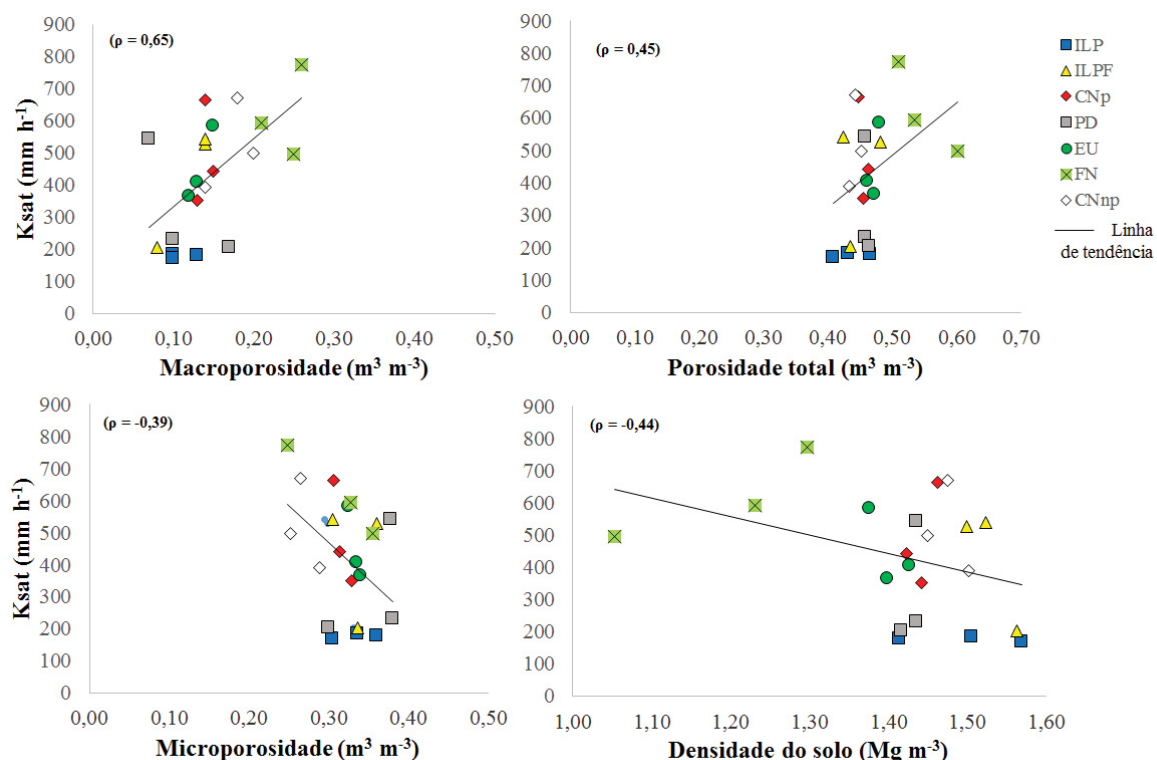
A influência do uso e manejo sobre a macroporosidade em sistemas com possibilidade de compactação é esperada, como por exemplo, nos sistemas integrados, em que a entrada de animais (pastejo) e máquinas são constantes. Entretanto, a compactação pode reduzir o tamanho dos poros da classe de macroporosidade, tornando-os em microporos e não necessariamente eliminando-os, a menos que essa compactação seja de intensidade suficiente para eliminar poros e afetar a Pt. Por essa razão, há maior microporosidade nos sistemas pastejados que nos sistemas naturais onde não há entrada dos animais. Assim, entre os sistemas agrícolas pastejados e não pastejados a Pt se caracteriza principalmente devido aos macroporos, estes são mais vulneráveis ao manejo (compactação) do que pela microporosidade.

2.5.2.3 Condutividade hidráulica saturada (Ksat) versus Macro, Micro, Pt e Ds

A condutividade hidráulica saturada (Ksat) correlacionou-se positivamente com a macroporosidade e com a Pt, e negativamente com a micro e a Ds (Figura 5). O coeficiente de Spearman (ρ) para dados não paramétricos foi significativo para todas as correlações, sendo o maior valor verificado contra a macroporosidade (macro): assim, há uma relação direta com o tamanho do poro. Segundo Mesquita & Moraes (2004), a medida da Ksat e da macroporosidade do solo são provenientes do mesmo espaço poroso, portanto, entre estas variáveis, é de se esperar que haja uma correlação, uma vez que são relatadas, inclusive, para uma mesma escala de comprimento interno da geometria dos poros do solo. A densidade de fluxo de água

nos poros do solo é diretamente proporcional ao tamanho do poro, consequentemente, os macroporos tendem a contribuir mais para a Ksat, aonde todos os macro estão cheios de água (Prevedello, 1996; Libardi, 2005).

FIGURA 5. Valores médios e correlações entre a condutividade hidráulica saturada (Ksat) e atributos físicos do solo (ρ = coeficiente de Spearman ($P < 0,0001$), nos sistemas de Integração Lavoura Pecuária (iLP); Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF); Campo Nativo Pastejado (CNp); Plantio direto com lavoura contínua (PD); Plantio de Eucalipto (EU); Floresta nativa secundária (FN) e Campo Nativo não pastejado (CNnp).



A relação inversa entre Ksat e microporosidade ocorre porque no solo, os poros de menor tamanho estão mais relacionados à retenção devido à influência das forças de capilaridade e adsorção da água às partículas do solo (Libardi, 2005). Assim, contribuem pouco para o fluxo de água pela matriz do solo. A condutividade hidráulica refere-se a permeabilidade e ou a facilidade com que a água é transportada através dos poros (Prevedello, 1996), assim, tende a ser menor com o aumento da micro que não possui tanta influência na capacidade do solo em conduzir e transportar a água, como a macro. Com relação à porosidade total (Pt), a relação também é direta, contudo menor, devido ao efeito dos microporos. O aumento da densidade do solo implica geralmente na redução da porosidade do

solo, principalmente da macroporosidade e, conseqüentemente, na permeabilidade de água no solo (Klein, 2014).

A Ksat é extremamente variável e influenciada por inúmeros fatores como, textura, estrutura, macroporosidade, manejo, classes de solo, continuidade dos poros, entre outros. Para Mesquita & Moraes (2004) a condutividade hidráulica saturada é mais dependente da estrutura do que da textura do solo e as práticas culturais adotadas influenciam diretamente a Ksat.

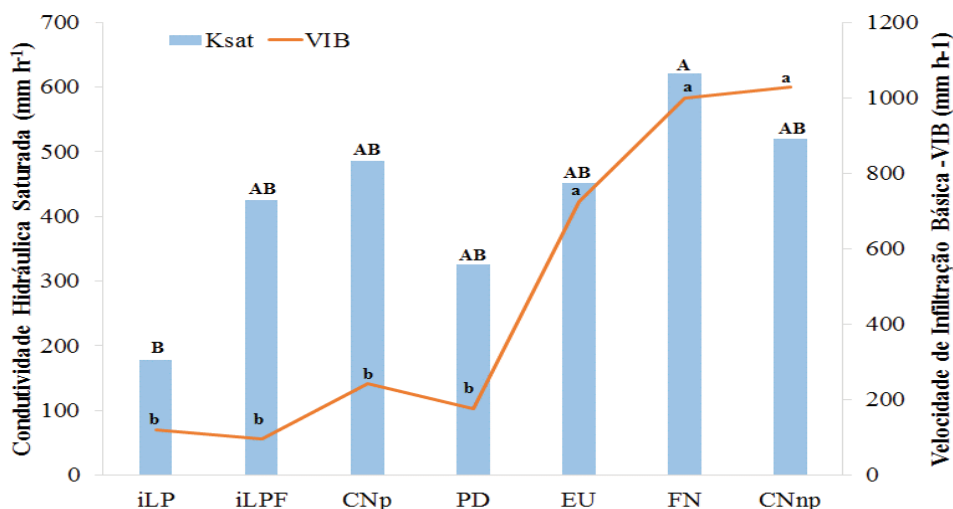
Os sistemas iLP e PD foram os que apresentaram a menor Ksat média (177,62 e 325,84 mm hora⁻¹), respectivamente. Contudo estes valores podem ser considerados altos, comparados com Coblinski (2016) que também trabalhando com sistemas de iLP porém em solo de textura argilosa obteve valores médios de 81,1 mm⁻¹. Os maiores valores de Ksat foram obtidos em FN, estando de acordo com os outros atributos avaliados, que foram melhores para FN em relação aos demais sistemas de uso.

Neste estudo, o mais importante atributo na relação entre Ksat e demais atributos físicos do solo foi a macroporosidade, corroborando com outros estudos (Mesquita & Moraes, 2004; Castro et al., 2009; Reichard & Timm 2012).

2.5.2.4. Ksat e Infiltração da água no solo (VIB)

A VIB não apresentou diferença significativa entre os sistemas agrícolas iLP, iLPF, PD e CNp (Figura 6), se diferenciando apenas dos sistemas mais conservacionistas (EU, FN e CNnp) enquanto que a Ksat diferiu estatisticamente apenas entre FN e iLP.

FIGURA 6. Valores médios (0-0,3 m) de condutividade hidráulica saturada (Ksat) e velocidade de infiltração básica (VIB), nos sistemas de integração lavoura-pecuária (iLP); integração lavoura-pecuária- floresta iLPF); campo nativo pastejado (CNp); plantio de eucalipto (EU); plantio direto com lavoura contínua (PD); floresta nativa secundária (FN) e campo nativo não pastejado (CNnp). . Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$).



Entre os sistemas agrícolas, é possível que a cobertura na linha das árvores no iLPF, possa ter contribuído para os maiores valores de Ksat em relação ao iLP e PD. O sistema CNp pode ter sofrido influência da rugosidade das camadas mais superficiais e efeito de possíveis bioporos presentes na área, concordando com as observações de Zagatto (2013) que avaliou a qualidade biológica deste sistema. Geralmente, a VIB e a Ksat apresentam alta variabilidade, principalmente pela descontinuidade dos poros (Klein & Libardi, 2002). Segundo Mesquita & Moraes (2004) a Ksat apresenta alta variabilidade, representada por altos coeficientes de variação, normalmente mais altos que 70%. Assim, os valores de Ksat e de VIB obtidos nos sistemas estudados podem ser resultado da influência não apenas da porosidade total, textura, estrutura, como também da distribuição e do tamanho de poros no perfil do solo. Santos et al. (2011) constataram que a condutividade hidráulica nas camadas superficiais tem sido afetada por sistemas de manejo, provavelmente pelo acúmulo de vegetação, ocasionando uma alteração na continuidade de poros pela maior atividade biológica.

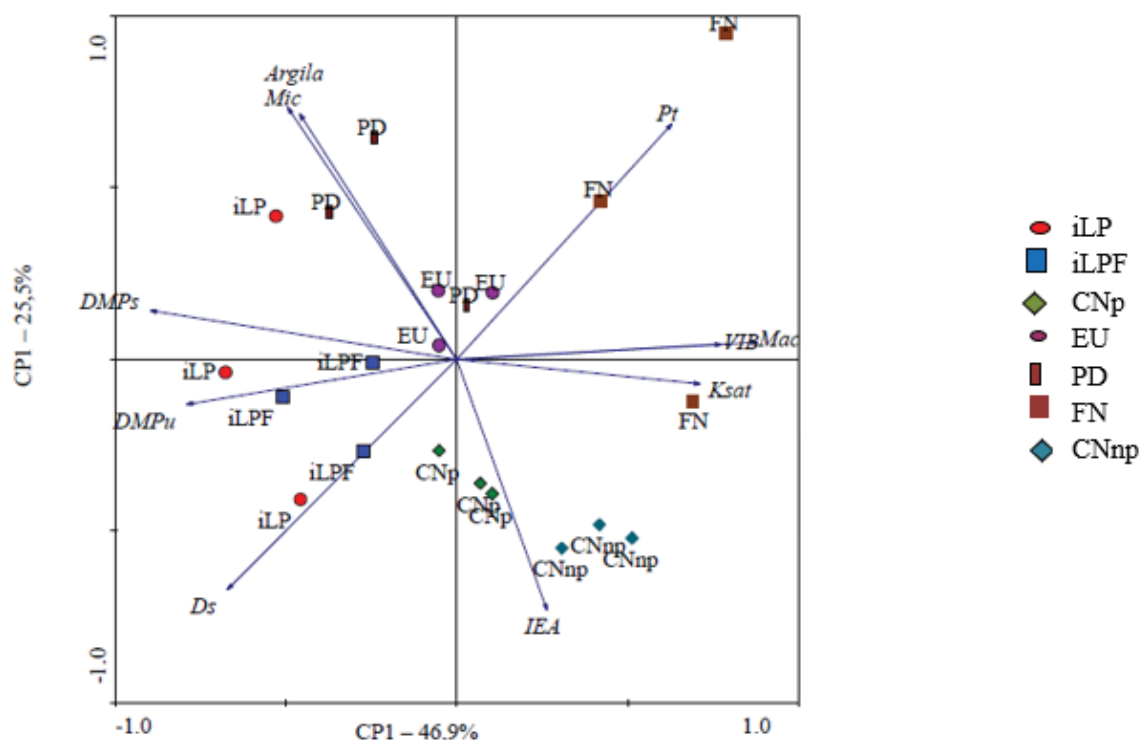
Os sistemas naturais (FN e CNnp) apresentaram os maiores valores de infiltração e Ksat. Este resultado, porém, não deve minimizar a importância dos sistemas integrados, pois outros atributos físicos, químicos e biológicos serão beneficiados pela maior complexidade ecológica comparado a agricultura

convencional, culminando com a melhoria dos serviços ambientais prestados (Palm et al., 2013). O efeito do manejo do solo sobre a taxa final de infiltração é evidenciado em outros estudos (Alves & Cabeda, 1999; Bertol et al., 2001), tendo uma grande contribuição à quantidade e qualidade dos restos culturais. Além do manejo, a textura também apresenta um papel importante, pois solos com maior proporção de areia resultam em maior volume de macroporos, aumentando assim a capacidade de infiltração de água no solo (Klein, 2014). Sales et al. (1999), acrescentam que fatores associados às propriedades físicas do solo, da própria água, e do manejo adotado, interferem na magnitude da VIB.

2.5.2.5 Análise de componentes principais dos atributos físicos

A análise de componentes principais dos atributos físicos (Figura 7) demonstrou que os dois primeiros componentes explicaram 72,4% da variação dos dados (CP1 = 46,9 % e CP2 = 25,5 %). Houve agrupamento dos sistemas, o que caracteriza diferenças entre estes no que se refere aos atributos físicos. Dentre estes, os que apresentaram maior importância foram os atributos hidráulicos (Macro, VIB, Ksat,) e estruturais (IEA). Assim, a CP1 aponta que 46,9 % é explicada por variáveis que definem o processo de drenagem da água no solo, ou seja, estão diretamente, relacionados à capacidade do solo em conduzir água.

FIGURA 7. Análise de componentes principais das médias ponderadas (0 - 0,3 m) dos atributos físicos (índice de estabilidade agregados (IEA), diâmetro médio ponderado de agregados seco (DMPs) e úmido (DMPu), porosidade total (Pt), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro), condutividade hidráulica saturada (Ksat) e velocidade de infiltração básica (VIB)) nos sistemas de integração lavoura-pecuária (iLP); integração lavoura-pecuária- floresta iLPF; campo nativo pastejado (CNp); plantio de eucalipto (EU); plantio direto com lavoura contínua (PD); floresta nativa secundária (FN) e campo nativo não pastejado (CNnp).



A infiltração de água no solo é um dos principais atributos utilizados na avaliação da qualidade física (Reichert et al., 2003). Nesse aspecto, os sistemas de uso e manejo do solo que mais se destacaram foram FN e CNnp. Nestes sistemas, os valores de VIB, Ksat (Figura 6) e macroporosidade (Tabela 4) confirmaram a CP1. Posteriormente, os sistemas CNp e CNnp se agruparam e também apresentam as características descritas anteriormente para o FN, contudo, foram definidos pelo IEA. Isso resulta em diferente potencial para perda de água via escoamento superficial, confirmando os resultados apresentados pelo sistema CNp, que se destacou para a perda de água (ver tabela 5 e Figura 9 no cap.2). Contudo, este sistema foi eficiente em controlar as perdas de solo.

Para a CP2, o atributo que se destacou foi o IEA, explicando 25,5% do comportamento dos sistemas. Os sistemas que se destacaram foram o CNnp e CNp

(Figura 4). Nestes sistemas os valores de IEA confirmam os resultados da CP1. Os atributos Ds, Pt, Micro, e argila não influenciaram de forma significativa na formação das CP1 e CP2, portanto não determinam a diferença entre os sistemas. Os sistemas agrícolas integrados (iLP e iLPF), estão no sentido contrário às setas com os maiores valores de Ds, DMPs e DMPu, atributos que influenciam as perdas via escoamento superficial (conforme detalhado no cap. 2). De modo geral, observa-se melhor qualidade dos atributos físicos nos sistemas naturais (FN, CNnp) seguido por CNp e EU e na sequência os sistemas agrícolas (iLPF, iLP e PD).

2.6. CONCLUSÕES

1. Os diferentes sistemas de uso e manejo influenciaram na qualidade física do solo. Os melhores resultados foram observados nos sistemas com vegetação nativa seguidos pelos sistemas agrícolas na seguinte ordem: FN, CNnp, CNp, EU > iLP, iLPF e PD.
2. Entre os sistemas de produção agrícola (iLP, iLPF e PD), de modo geral, observou-se melhor qualidade física no sistema iLP nas camadas superficiais do solo, enquanto que o sistema PD com lavoura contínua apresentou os menores índices estruturais e hidráulicos do solo.

2.7 REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, R. C.; PORFÍRIO DA SILVA, V.; GONTIJO NETO, M. N.; VIANA, M. C. M.; VILELA, L. Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: condicionamento do solo e intensificação da produção de lavouras. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 31(257): 1-9, 2010b.
- ALVES, M. C. & CABEDA, M. S.V. Infiltração de água em um Podzólico VermelhoEscuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades. Rev. Bras. Ci. Solo, 23: 753-761, 1999.

AMADO, T. J. C.; CONCEIÇÃO, P.C.; BAYER, C. & ELTZ, F.L.F. Qualidade do solo avaliada pelo “*Soil Quality Kit*” em dois experimentos de longa duração no Rio Grande do Sul. Rev. Bras. Ci. Solo, 31: 109-121, 2007.

ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado sob mata nativa. Rev. Bras. Ci. Solo, 28: 337-345, 2004.

BALBINO, L. C.; BARCELOS, A. O. & STONE, L. F. Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta. Brasília, Embrapa Solos., 130p , 2011.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S. da; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A. de O. (Ed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole. 2008., p.7-18.

BERTOL, I. BEUTLER, J.F.; LEITE, D. & BATISTELA, O. Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. Scientia Agrícola, 58: 3, 2001.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J.A. de; ALMEIDA, E.X. de; KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem capim elefante anão cv. Mott. Pesq. Agropec. Bras., 35:1047-1054, 2000.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; MASSARIOL, J.M.; REIS, E.F. & DILLY, L. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico álico afetadas pelo manejo do solo. Ci. Rural, 30:91-95, 2000.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods. 2 nd ed. Madison: American Society of Agronomy. 1986., p. 425-442.

BOWER, H. Intake rate: cylinder infiltrometer. In: Klute A., ed. *Methods of Soil Analysis*. Wisconsin: American Society of Agronomy, cap. 32, p.825-844, 1986.

CASSOL, E.A. & LIMA, V.L. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 8: 117-124, 2003.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. & PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio direto, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 22: p.527-538, 1998.

CASTRO, O. M. DE; VIEIRA, S. R.; SIQUEIRA, G. M.; ANDRADE, C. A. DE. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho eutroférico sob diferentes sistemas de preparo. *Bragantia*, 68: 1047-1057, 2009.

CAVALIERI, K. M. V. Aspectos metodológicos da pesquisa sobre compactação e qualidade física do solo. 2007. 72 p. (Tese Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade de São Paulo, Escola de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba-SP.

CAVALIERI, K. M. V.; CARVALHO, L. A. DE.; SILVA, A. P. DA.; LIBARDI, P. L. & TORMENA, C. A. Qualidade física de três solos sob colheita mecanizada de cana-de-açúcar. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 35: 1541-1549, 2011.

COBLINSKI, J. A. Perdas de solo, água e nutrientes via escoamento superficial em sistemas de uso e manejo do solo. 2016. 38 p. (Dissertação Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.

COSTA, ANDRÉ.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, Á. L. & F. R. DA SILVA. Propriedades físicas do solo em sistemas de manejo na integração agricultura-pecuária. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 33: 235-244, 2009.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 27:527-535, 2003.

DERPSCH, R., ROTH, C.H., SIDIRAS, N. & KÖPKE, U. Controle da erosão no Paraná, Brasil. In: *Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista*. Iapar, Londrina. 1991., 272p.

DEXTER, A.R. Soil physical quality: Part II. Friability, tillage, tilth and hard-setting. *Geoderma*, 120: 215–225, 2004.

DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, SSSA. 1994., p.1-20.

DORAN, J.W., ZEISS, M.R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology* 15 (3):11, 2000.

DUFRANC, G.; DECHEN, S. C. F.; FREITAS, S. S.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. *Rev. Bras. Ci Solo*, 28: 3. 505-517, 2004.

DUTARTRE, Ph.; BARTOLI, F.; ANDREUX, F.; PORTAL, J. M.; ANGERS, A. Influence of content and nature of organic matter on the structure of some sandy soils from West Africa. In: BRUSSAARD, L.; KOOISTRA, M. J. (Ed.). *Soil structure/soil biota interrelationships*. Amsterdam: Elsevier, 1993. p. 459-478.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Manual de métodos de análise de solos*. 2ed. Rio de Janeiro. 1997., 212p.

EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE. Banco de dados climáticos do Brasil. Disponível em: <[http:// www.bdclima.cnpm.embrapa.br](http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br)>. Acesso em: 28/03/2014.

FAO, Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. Escassez e degradação dos solos e da água ameaçam segurança alimentar. Presente em: <https://www.fao.org.br/edsaasa.asp>. Consulta em: 15/06/2014.

FERREIRA, S. A. Avaliação visual da estrutura e macrofauna edáfica em sistemas de uso do solo no Subtrópico Brasileiro. 2015. 41 p. (Dissertação Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.

FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E.; PRATES, V.; WREGE, M. S. Caracterização ambiental de duas regiões do Bioma Mata Atlântica no Paraná e sua importância para estudos em serviços ambientais. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica. Eds. Embrapa Floresta. Brasília, DF, 2015. p. 37-46.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-size Analysis. In: KLUTE, A. (Ed.). Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods. Second Edition, Madison: American Society of Agronomy. 1986., p. 383 – 409.

HAYGARTH, P.M. & JARVIS, S.C. Agriculture, hydrology and water quality. CAB International, Cambridge, 2002. 502p.

IAPAR. Cartas climáticas básicas do estado do Paraná. Londrina, Fundação Instituto Agrônomo do Paraná, 1978.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. Contextualização do Parque Estadual de Vila Velha. In: INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. Plano de manejo: Parque Estadual de Vila Velha. Curitiba, 2004a. Disponível:

<http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Plano_de_Manejo/PE_VilaVelha/PEVV_encarte1.pdf>. Acesso em 20 /08/ 2014.

JIAO, Y.; WHALEN, J. K. & HENDERSHOT, W. H. No-tillage and manure applications increase aggregation and improve nutrient retention in a sandy-loam soil. *Geoderma*, 134: 24-33, 2006.

KARLEN, D. L. & STOTT, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, SSSA. (Special, 35). 1994., p.53-72.

KEMPER, W.D. & ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. *Methods of soil analysis*. Madison American Society of Agronomy. 1986., p.425-442.

KLEIN, V. A. *Física do solo*. 3.ed. Passo Fundo: EDIUPF. 2014., 263p.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Ci.. Rur.*, Santa Maria, 32(6): 945-953, 2002.

LAL, R.; FOLLETT, R.F.; KIMBLE, J.; COLE, C.V. Managing U.S. cropland to sequester carbon in soil. *Journal of Soil and Water Conservation*, 5: 374-381, 1999.

LAURINDO, M. C O.; NÓBREGA, L. H. P.; PEREIRA, J. O.; MELO, D.; LAURINDO, E. L. atributos físicos do solo e teor de carbono orgânico em sistemas de plantio direto e cultivo mínimo. *Engenharia na agricultura*, Viçosa - MG, v.17 n.5, 2009.

LIBARDI, P.L. *Dinâmica da Água no Solo*. São Paulo, Edusp – Editora da Universidade de São Paulo. 2005., 335p.

MELLO, E.L.; BERTOL, I.; ZAPAROLLI, V. & CARRAFA, M.R. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um nitossolo háplico submetido à chuva simulada. *Rev. Bras. Ci Solo*, 27:901-909, 2003.

MESQUITA, M.G. B. F. & MORAES, S.E. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. *Ciência Rural*, 34: 963 – 969, 2004.

MIGUEL, F. R. M.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. Variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio. *Pesq. Agropec. Bras.*, 44: 1513-1519, 2009.

MORAES, A., CARVALHO, P.C.F., ANGHINONI, I., LUSTOSA, S.B.C., COSTA, S.E.V.G.A. & KUNRATH, T.R. Integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics. *European Journal of Agronomy*. 57:4-9, 2014.

MORAES, A.; PELISSARI, A.; ALVES, S.J.; CARVALHO, P.C.F. & CASSOL, L.C. Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil. In: MELLO, N.A. & ASSMANN, T.S., eds. *ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL*. 2002., p.3-42.

PADUA, E. J.; GUERRA, A. R.; ZINN, Y. L. Modelagem da Densidade do Solo em Profundidade sob Vegetação Nativa em Minas Gerais. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 39:725-736, 2015.

PALM, C.; BLANCO-CANQUI, H.; CLERCKC, F.; GATERE, L.; GRACE, P. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 20p., 2013.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; SOBRINHO, T. A.; OLIVEIRA, P. T. S. & RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 35:1777-1785, 2011.

PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica. Eds. Embrapa Floresta. Brasília, DF. 2015., 368p.

PORFÍRIO DA SILVA, V. Produtividade em Sistema de Integração Lavoura-Pecuária - Floresta no Subtropical Brasileiro. 2012. 119 p. (Tese Doutorado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.

PREVEDELLO, C.L. Física do solo com problemas resolvidos. Curitiba. 1996., 446 p.

RACHWAL, M. F. G.; DEDECEK, R. A.; MAIA, C. M. B. F.; PARRON, L. M. Uso e manejo da terra e aspectos pedológicos na avaliação de serviços ambientais. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica. Eds. Embrapa Floresta. Brasília, DF. 2015., p. 47-60.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. Solo, planta e atmosfera: Conceitos, processos e aplicações. 2.ed. Barueri: Manole. 2012., 524p.

REICHERT, J. M.; REINERT, J. M.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. Ciência & Ambiente, 27: 29-48, 2003.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Propriedades físicas do solo. UFSM. 2006., 18p.

REYNOLDS, W. D., ELRICK, D.E. Falling head soil core (tank) method. In: Dane, J.H., Topp, G.C. (Eds.): Methods of Soil Analysis: Part 4. Physical methods. SSSA Book Series No. 5. SSSA, Madison, WI. 2002., p. 809–812.

SALES, L. E. O.; FERREIRA, M. M.; OLIVEIRA, M. S.; CURI, N. Estimativa da velocidade de infiltração básica do solo. Pesq. Agropec. Bras., 34 (11): 2091-2095, 1999.

SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; SILVA, E. M.; SILVEIRA, P., M.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. *Pesq. Agrop. Bras.*, 46: 1339-1348, 2011.

SASAL, M. C.; CASTIGKIONI, M. G.; WILSON, M.G. Effect of crop sequences on soil properties and runoff on natural-rainfall erosion plots under no tillage. *Soil & Tillage Research*, 108: 24-29, 2010.

SHARPLEY, A. N. Introduction: Agriculture as a Potential Source of Water Pollution. In: *Agriculture, Hydrology and Water Quality*. 2002., p. 4-5.

SILVA, A. P.; KAY, B.D. & PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range of soils. *Soil. Sc. Soc. Am. J.*, 58: 1775-1781, 1994.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; JUNIOR, M. S. D.; IMHOFF, S.; KLEIN, V. A. Indicadores da qualidade física do solo. In: *Física do Solo*. Ed. Quirijn de Jong van Lier. SBCS, Viçosa. 2010., p. 241-280.

TISDALL, J. M.; OADES, L. M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. *Journal Soil Science*, 33: 141-163, 1982.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. & LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 22:573-581, 1998.

USDA-ARS. Soil quality test kit guide. Washington, Soil Quality Institute. 1998., 82 p.

VEZZANI, F.M. & MIELNICZUK, J. O Solo como Sistema. Curitiba: Ed. dos autores. 2011., 104 p.

VEZZANI, F.M. & MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 33:743-755, 2009.

VOLK, L.B.S.; COGO, N.P. & STRECK, E.V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 28:763-774, 2004.

WENDLING, B.; FREITAS, I. C. V.; OLIVEIRA, R. C.; BABATA, M. M.; BORGES, E. N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de Conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e Plantio direto. *Bioscience Journal*, 28: 256-265, 2012.

ZAGATTO, M. R. G. Fauna edáfica em Sistemas de Uso do Solo no Município de Ponta Grossa - PR. 2014. 68 p. (Dissertação Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.

3 CAPÍTULO 2: PERDAS DE ÁGUA, SOLO E NUTRIENTES POR ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM SISTEMAS DE USO E MANEJO DO SOLO

3.1 RESUMO

O uso e manejo intensivo do solo pode causar problemas de qualidade de água devido as perdas de sedimentos e poluentes associados ao escoamento superficial. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de sistemas de uso e manejo do solo nas perdas de água, solo e nutrientes via escoamento superficial. Os tratamentos, dispostos em delineamento experimental de blocos ao acaso com três repetições, consistiram em quatro sistemas de uso e manejo do solo: Integração Lavoura Pecuária (iLP); Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF); Campo Nativo Pastejado (CNp); e Plantio de Eucalipto (EU). O experimento foi conduzido em Ponta Grossa-PR sobre solos de textura franco arenosa e areia franca com declividades variando entre 3 a 13%. Os sistemas integrados de produção agrícola sob plantio direto com rotação de culturas (aveia preta e trigo no inverno e soja e milho no verão) foram estabelecidos há mais de 10 anos. Para a coleta do escoamento superficial foram instaladas parcelas (36,1 m²) delimitadas por chapas galvanizadas de zinco conectadas a dois recipientes coletores com capacidade de 60 litros cada. As coletas foram realizadas após os eventos de precipitação com geração de escoamento em pelo menos uma parcela experimental. Os indicadores avaliados foram perda de água e solo e concentração e perda de fósforo e nitrogênio solúveis. Os sistemas de uso e manejo do solo influenciaram a qualidade da água resultando em maiores perdas de água e solo nos sistemas agrícolas sob integração. A sazonalidade (inverno / verão) influenciou as perdas de água solo e nutrientes via escoamento superficial, com as maiores perdas no verão.

Palavras-chave: Sistemas conservacionistas, sistemas integrados de produção agropecuária, qualidade da água, fósforo, nitrogênio

CHAPTER 2. WATER, SOIL AND NUTRIENTS LOSSES BY RUNOFF IN SOIL USE AND MANAGEMENT SYSTEMS

3.2 ABSTRACT

The intensive soil use and management cause water quality problems due to losses of sediments and pollutants associated with runoff. The objective of this work was to evaluate the effect of soil use and management systems on water, soil and nutrient losses by runoff. The treatments, arranged in a randomized block design with three replications, consisted of four systems of soil use and management: Integrated Crop-Livestock under no-tillage (iLP); Integrated Crop-Livestock-Forest under no-tillage (iLPF); Grazed Native Grassland (CNp); and Eucalyptus (EU). The experiment was carried out in Ponta Grossa-PR in sandy loam and loamy sand textures with slopes ranging from 3 to 13%. The integrated agricultural systems under no-tillage with rotation (black oats and wheat in winter and soybean and corn in summer) were established more than 10 years ago. To collect the surface runoff, plots (36.1 m²) delimited by galvanized zinc plates were connected to two plastic bottles of 60 liters each. The runoff sampling was performed after rainfall events with runoff in at least one experimental plot. It was evaluated water and soil loss and concentration and loss of soluble phosphorus and nitrogen. Soil use and management systems influenced water quality resulting in higher water and soil losses in the integrated agricultural systems. Seasonality (winter / summer) influenced the losses of soil, water and nutrients with higher losses in the summer.

Key words: Conservation systems, integrated agricultural systems, water quality, phosphorus, nitrogen

3.3 INTRODUÇÃO

A qualidade da água é representada por um conjunto de características de natureza química, física e biológica associadas a processos que ocorrem no corpo hídrico e em sua bacia de drenagem. A movimentação de água propicia a dissolução e transporte bem como confere energia para que substâncias dissolvidas e partículas presentes na massa líquida sejam transportadas pelos cursos d'água, especialmente durante o período de intensa precipitação pluviométrica (Takeda et al., 2009).

O uso e manejo intensivo por atividades agrícolas podem causar sérios problemas relacionados ao transporte de sedimentos e poluentes associados ao escoamento superficial. Neste aspecto, as contribuições difusas de poluentes através desse escoamento, infiltração e fluxo nos macroporos (Lal, 1994), tem comprometido a qualidade da água, de modo que as áreas agrícolas tem se destacado como principal fonte de poluição não pontual (Haygarth, & Jarvis, 2002). Isto ocorre, principalmente, quando envolve atividades com excessiva utilização de fertilizantes e agrotóxicos em ambientes frágeis, como, por exemplo, sistemas de uso em solos pouco profundos e de alta declividade (Ramos et al., 2009; Merten & Minella, 2002).

A contaminação dos recursos hídricos por atividades agrícolas se dá, principalmente, pelo acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P) e carbono (C) em frações solúveis ou adsorvidas aos sedimentos (Sharpley et al., 2001; Pierzynski et al., 2005), provenientes de fertilizantes minerais e orgânicos, bem como o próprio sedimento (Leinweber et al., 2002; Hatch et al., 2002). O N e P aceleram o processo de eutrofização e comprometem a qualidade da água, sendo que entre estes, o P atua como elemento limitante, uma vez que N pode ser incorporado da atmosfera pela fixação de N-atmosférico por algas verde-azuladas (Sharpley et al., 1987; Daniel et al., 1998; Kay et al., 2009).

O N, além de estar associado à eutrofização, causa problemas à saúde humana e animal. Na forma de nitrato causando a “meta-hemoglobinemia” (McCasland et al., 1985) ou síndrome do bebê azul, doença que inibe o transporte de oxigênio no sangue. O nitrogênio amoniacal na forma não ionizada é tóxica aos animais aquáticos (Chapman, 1996). Embora os ecossistemas aquáticos auto depuram em média, 80% da sua carga global incidente de N, a capacidade de

autodepuração varia e não é ilimitada (Galloway et al., 2004). O carbono também é um elemento poluente, pois afeta a disponibilidade de oxigênio dissolvido e causa problemas devido aos trihalometanos, compostos cancerígenos, formados no processo de cloração, em sistemas de tratamento de água para abastecimento humano (Kay et al., 2009).

Concomitante ao fato de que para assegurar altos níveis de produção agrícola são adicionadas elevadas taxas de fertilizantes orgânicos e inorgânicos, provocando excedentes que podem vir a integrar corpos d'água (Sharpley et al., 2001; Shigaki et al., 2006), nas últimas décadas, sistemas de uso e manejo para a conservação do solo e da água têm sido intensivamente recomendados (Haygarth & Jarvis, 2002). Portanto, com o uso intenso do solo vê-se a necessidade de planejamento e gestão adequados para cada microbacia, com intuito de diminuir a poluição das águas, procurando, assim, melhores práticas de adubação e manejo (Sharpley et al., 2001; Shigaki et al., 2006).

Dentre os sistemas conservacionistas de solo e água se destacam os que promovem adequada proteção superficial e aumento da matéria orgânica do solo (Derpsch et al., 1991); melhoria da estrutura do solo (Castro filho et al., 1998; Jiao et al., 2006) e o aumento na infiltração da água (Sasal et al., 2010; Panachuki et al., 2011), promovendo a diminuição do escoamento superficial (Cassol & Lima, 2003; Mello et al., 2003; Volk et al., 2004) e consequentemente o transporte de poluentes do solo para a água afetando positivamente, tanto agronomicamente como ambientalmente (Follett & Stewart, 1985). Neste sentido, no Brasil, nos últimos anos, observa-se a consolidação da prática do plantio direto na palha e o avanço da complexidade ecológica desse sistema, associando com pecuária (integração lavoura-pecuária-iLP) e floresta (integração lavoura-pecuária-floresta-iLPF), também conhecido como Sistema Integrado de Produção Agropecuária (SIPA) (Moraes et al., 2014; Balbino et al., 2011; Moraes et al., 2002). Estes sistemas possibilitam a exploração diversificada da área concomitante à manutenção do material vegetal sobre a superfície do solo mesmo após a colheita.

A agricultura conservacionista se destaca em relação à agricultura tradicional em vários aspectos. Palm et al. (2013) destacam a melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, que inferem numa melhor qualidade dos recursos naturais. Assim, dentro desse sistema de maior complexidade ecológica, os

componentes da produção agrícola, florestal e animal interagem, contribuindo positivamente para sustentabilidade ambiental (Alvarenga et al, 2010 b). Neste sentido, a hipótese deste trabalho é que os diferentes sistemas de uso do solo influenciam a qualidade da água de escoamento superficial, sendo que as perdas de água, solo e nutrientes serão menores no sistema EU e CNp seguido por iLPF e iLP, ordenados em função do manejo do solo e da cobertura. Nos sistemas iLP e iLPF, além da presença de animais, ocorre adição de fertilizantes na forma mineral, portanto espera-se uma maior concentração de nutrientes via escoamento superficial nestes sistemas. Esperam-se também maiores perdas de solo, água e nutrientes via escoamento superficial principalmente no verão, devido a uma redução da taxa de cobertura, maior fertilização do solo e concentração das chuvas. Os objetivos foram: a) avaliar o efeito dos sistemas de uso do solo nas perdas de água e solo via escoamento superficial; b) avaliar o efeito dos sistemas na concentração e perdas de nitrogênio e fósforo solúveis no escoamento superficial; c) verificar o efeito das estações do ano nas perdas de solo, água e nutrientes.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Caracterização da área de estudo

Ver item 1.2 no capítulo 1

3.4.2 Coleta do escoamento superficial

As avaliações do escoamento superficial foram realizadas nos sistemas iLP, iLPF, CNp e EU (descritas no capítulo 1). Para a coleta do escoamento superficial foram instaladas parcelas de 36,1 m² (3,8 m largura x 9,5 m de comprimento) delimitadas por chapas galvanizadas de zinco com 10 cm de altura, enterradas 5 cm no solo, afunilando na parte inferior da parcela onde foi conectada a dois recipientes coletores com capacidade de 60 litros cada (Figura 8). As amostras de escoamento superficial foram coletadas logo após o evento de precipitação, fazendo uso de garrafas de 500 mL. As amostras foram homogeneizadas antes da coleta, transportadas sob refrigeração e congeladas até o processamento em laboratório. Todos os instrumentos de coleta, a cada amostragem, eram devidamente higienizados com HCl 3% e água deionizada. As coletas do escoamento superficial

foram entre fevereiro/2013 a março/2015. Durante o plantio e colheita das culturas, as chapas coletoras do escoamento nos sistemas iLP e iLPF foram retiradas, para permitir a passagem dos implementos agrícola, por isso, alguns eventos de chuvas nesses sistemas não foram amostrados.

FIGURA 8. Vista parcial da estrutura coletora (galões) do escoamento superficial na área do sistema iLPF no início da cultura de inverno (esquerda) e durante a cultura de verão (direita).



3.4.3 Determinação da perda de água e solo

Para medir o volume de escoamento em cada parcela utilizou-se um balde graduado e proveta. O volume de cada unidade experimental na área da parcela foi transformado em mm de água perdida através da relação volume de água coletado/área da unidade experimental.

Para a perda de solo, uma alíquota representativa de 100 mL da amostra do escoamento superficial foi seca a 105°C para a determinação da perda de solo (adaptado de APHA, 1995). Após determinação do peso da amostra seca, foi extrapolado para hectare.

3.4.4 Determinação de nutrientes

Os nutrientes solúveis em água foram determinados em amostras filtradas com membrana de éster de celulose com malha de 0,45 micrômetros. O nitrogênio (N) foi determinado nas formas de nitrato (N-NO_3^-) e amônio (N-NH_4^+). O nitrato foi obtido por espectrofotometria pelo método de redução por zinco (Heizmann et al.,

1984). Nesse método, duas soluções com e sem adição de zinco metálico são submetidas à leitura em espectrofotômetro de absorção ultravioleta com comprimento de onda de 210 nanômetros (nm), obtendo-se a concentração de nitrato através da subtração (solução sem zinco - solução com zinco).

A concentração de amônio foi quantificada por espectrofotometria, em comprimento de onda de 640 nm, pelo método do fenato conforme APHA (1995).

O fósforo solúvel reativo (PSR) foi determinado por espectrofotometria pelo método do ácido ascórbico, em comprimento de onda de 880 nm (APHA, 1995).

As análises de nutrientes da água foram realizadas nos Laboratórios do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Setor de Ciências Agrárias da UFPR.

A perda de nutrientes foi obtida pelo produto da concentração e volume perdido de escoamento na área da parcela e extrapolado para hectare.

3.4.5 Análises estatísticas

A análise estatística dos dados de perda e concentração de nutrientes foi feita no programa R-CRAN, utilizando o pacote *agricolae* pela comparação de médias pelo teste de Tukey a 5%. Os atributos da água foram agrupados entre os sistemas de manejo a partir da análise de componentes principais (ACP) no software CANOCO 4.1 utilizando as concentrações médias ponderadas e perdas totais (dois anos).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1. Perdas de água e solo

A perda de água acumulada no período de 2 anos via escoamento superficial variou de 14,9 mm a 37,77 mm (Tabela 5), com a seguinte ordem entre os sistemas: iLPF > CNp > iLP > EU. O coeficiente de escoamento variou de 0,45 a 1,14%. Os valores encontrados não apontam perdas significativas quando comparados com outros estudos, por exemplo, Ramos et al. (2014), que avaliaram encostas sob cultivo orgânico e convencional e Coblinski (2016) estudando encostas com sistemas integrados de produção agropecuária. Estes autores também registraram coeficientes de escoamento menores que 1%. Resultados obtidos nessa mesma região dos Campos Gerais do Paraná por Merten et al. (2015), com sistemas de

preparo de solo em condições de chuva natural, mostram que o sistema conservacionista sob plantio direto foi muito eficaz no controle da perda de solo quando comparado com tratamentos que causam maior perturbação do solo. No entanto, esta eficiência no controle da perda de solo não foi acompanhada no controle da perda do escoamento superficial.

Áreas com potencial para perdas de escoamento superficial, são acompanhadas pelo risco desse escoamento transportar sedimentos e nutrientes que podem se concentrar em corpos d'água e comprometer sua qualidade. Sistemas conservacionistas apresentam uma grande eficiência na redução de perdas de solo, apesar de não serem muito eficientes nas perdas de água. Esse efeito ocorre, principalmente em função da cobertura vegetal na proteção do impacto das gotas de chuva (Harrod & Theurer, 2002).

TABELA 5. Perda acumulada de água e solo no período de fev/2013 a mar/2015 (2 anos) nos sistemas de Integração Lavoura Pecuária (iLP); Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF); Campo Nativo Pastejado (CNp) e Plantio de Eucalipto (EU).

Sistema	Precipitação (mm)	Perda de água (mm) ¹	Perda de solo (kg ha ⁻¹) ¹	Coefficiente de escoamento (%) ²
iLP	3315	19,7 ab	71,6 b	0,6
iLPF		37,7 a	251,9 a	1,14
CNp		26,1 ab	16,8 b	0,79
EU		14,9 b	9,7 b	0,45

¹ Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade (P<0,05).

² Coeficiente de escoamento = Perda de água do sistema/precipitação acumulada * 100.

As perdas acumuladas de solo no período (2 anos) ocorreram na ordem: iLPF > iLP > CNp > EU (Tabela 5). Apesar dos sistemas de produção agrícola iLPF e iLP apresentarem os maiores valores (251,8 e 71,6 kg ha⁻¹, respectivamente), os resultados mostram de modo geral pequenas perdas no período avaliado. As perdas de solo foram de 0,0358 a 0,1259 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Na região dos Campos Gerais do Estado, Merten et al. (2015), encontraram perdas de solo que variaram entre um máximo de 1,7 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para rotação de culturas com preparo mínimo do solo e um mínimo de 0,05 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para cultivos sob plantio direto. Ainda, avaliando diferentes tamanhos de parcelas, declives, sistema de culturas e preparo do solo, os

autores encontraram no plantio direto, perdas de $0,4 \text{ Mg}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ sob eventos extremos de precipitação e quando o declive era superior a 10%. No presente estudo, os sistemas sob plantio direto com integração (iLP e iLPF) possuem declives que variam de 3 a 10% no iLP e 4,7 a 13,2% no iLPF (Tabela 1). Derpsch et al. (1991) apresentam o valor de $2,47 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (perda média de solo em plantio direto na região Sul do Brasil).

Ramos et al. (2014) também encontraram baixas perdas de solo e água em encostas agrícolas submetidas à diferentes sistemas de produção. Estes autores relatam perdas de solo de $1,93 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ no cultivo orgânico e $34,08 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ no convencional. Para a perda de água, estes autores registraram $1,21 \text{ mm ano}^{-1}$ no sistema orgânico e $1,98 \text{ mm ano}^{-1}$ no convencional. Coblinski (2016), estudando encostas sob lavoura e integração lavoura-pastagem (iLP), registrou pequenas taxas de variação e perdas de solo e água ($2,6 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na lavoura e $0,7 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}$ no iLP), valores menores que os do presente estudo que registrou perdas de solo de $35,8$ e $125,9 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e água de $19,7$ e $37,7 \text{ mm ano}^{-1}$ nas áreas sob iLP e iLPF, respectivamente.

A perda de solo para o sistema sob plantio de eucalipto foi de $4,85 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Tabela 5). Estes valores estão abaixo dos obtidos por Candido et al. (2014), os quais registraram perdas de solo de 9 e $11 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, em trabalho com parcelas de chapas galvanizadas em diferentes sistemas de manejo de eucalipto (Latossolo Vermelho distrófico). As perdas de solo no sistema plantio de eucalipto (EU) ficaram relativamente próximas daquelas do campo nativo pastejado (CNp) ($8 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), indicando a importância do fator cobertura e uso do solo. Segundo Martins et al. (2010), isso ocorre em razão do período que o solo fica em pousio durante o ciclo da cultura do eucalipto, ocorrendo crescente acúmulo de material vegetal (serapilheira) e crescimento de sub-bosque que favorece a proteção da superfície do solo.

Esperava-se menores perdas de água e solo nos sistemas EU e CNp seguido por iLPF e iLP, no entanto essa hipótese foi confirmada apenas para a perda de solo (Tabela 5 e Figura 9). Nesses sistemas não ocorreu revolvimento do solo, já nos sistemas iLPF e iLP, mesmo sendo em plantio direto, ocorreu um pequeno revolvimento superficial em função das hastes sulcadoras das plantadoras no plantio das culturas.

A taxa de infiltração está altamente correlacionada com a perda de água. Quanto menor a infiltração, maiores são as perdas via escoamento superficial. Nos sistemas integrados, além da carga animal, possivelmente a carga dos implementos também contribui para compactação em subsuperfície comumente observado nas áreas de PD (Silva, 1986; Reichert et al., 2004; Cavalieri, 2007), favorecendo o escoamento superficial. Aliado a isso, o componente arbóreo no sistema iLPF possivelmente concentra e direciona o fluxo superficial nos eventos de intensa precipitação pelo escoamento do tronco (Lima, 1976; Balieiro et al., 2007; Oliveira, 2012), além do crescimento vegetal ser menor na linha das árvores, pelo efeito do sombreamento. Analisando alguns resultados preliminares (dados não apresentados) é possível observar a contribuição do escoamento do tronco na perda de água nos sistemas iLPF e EU. Contudo estudos detalhados e direcionados com esse objetivo se fazem necessários nestas áreas para compreender melhor a dinâmica da água no componente arbóreo.

Para as perdas de água no sistema CNp (Tabela 5), analisando os dados de infiltração (ver cap 1, Figura 6) observa-se que esse sistema apresentou perda de água (26,1 mm) superior ao sistema iLP (19,7mm), o que não era esperado. Isso possivelmente ocorreu devido a maior compactação promovida pelo pisoteio animal na área, cuja carga animal não era controlada, bem como pelo efeito da maior declividade neste sistema. Contudo, as perdas de solo verificadas no sistema CNp ($8,4 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) foram muito baixas, com valores semelhantes aos verificados no sistema com eucalipto (Tabela 5). Dados diferentes foram encontrados por Bertol et al. (2011), que trabalharam com quantificação de erosão sob chuva simulada em campo nativo e registraram perdas de 13,7 mm de água e $16,7 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de solo. Bortolozo et al. (2015), descreve que as baixas perdas de solo em áreas sob campo nativo, se devem ao efeito da massa vegetal da parte aérea do campo na proteção do impacto das gotas de chuva.

Mesmo com maiores perdas nos sistemas agrícolas comparado ao sistema EU deve-se ressaltar que a cobertura proporcionada pelo manejo conservacionista nos sistemas integrados eleva a qualidade do solo e aumenta sua resistência a perda de solo água quando comparado a sistemas convencionais (Palm et al., 2013).

O volume de precipitação não foi uniforme entre as estações de inverno e verão no período do estudo, o que contribuiu para a ocorrência do efeito da sazonalidade (inverno/verão) nas perdas de água, solo e nutrientes. Analisando a Tabela 6 observa-se que no verão o volume de precipitação foi maior que no inverno, o que consequentemente gerou maiores perdas de água e solo no verão. As maiores diferenças de perda de água e solo entre os sistemas ocorreram em eventos durante o período do verão conforme pode ser observado na Figura 9. Entre os anos observa-se que no verão de 2013/2014 ocorreu maior precipitação (Tabela 6). Os meses que mais contribuíram foram janeiro e fevereiro de 2014 (Figura 9). Neste período ocorreram 30 eventos de precipitação em janeiro e 19 em fevereiro, e cinco principais eventos com produção de escoamento superficial, dias 04, 10 e 12 de janeiro de 2014 com precipitação de 97,5; 20,8 e 15,7 mm e dias 13 e 14 de fevereiro com 18,0 e 97,29 mm.

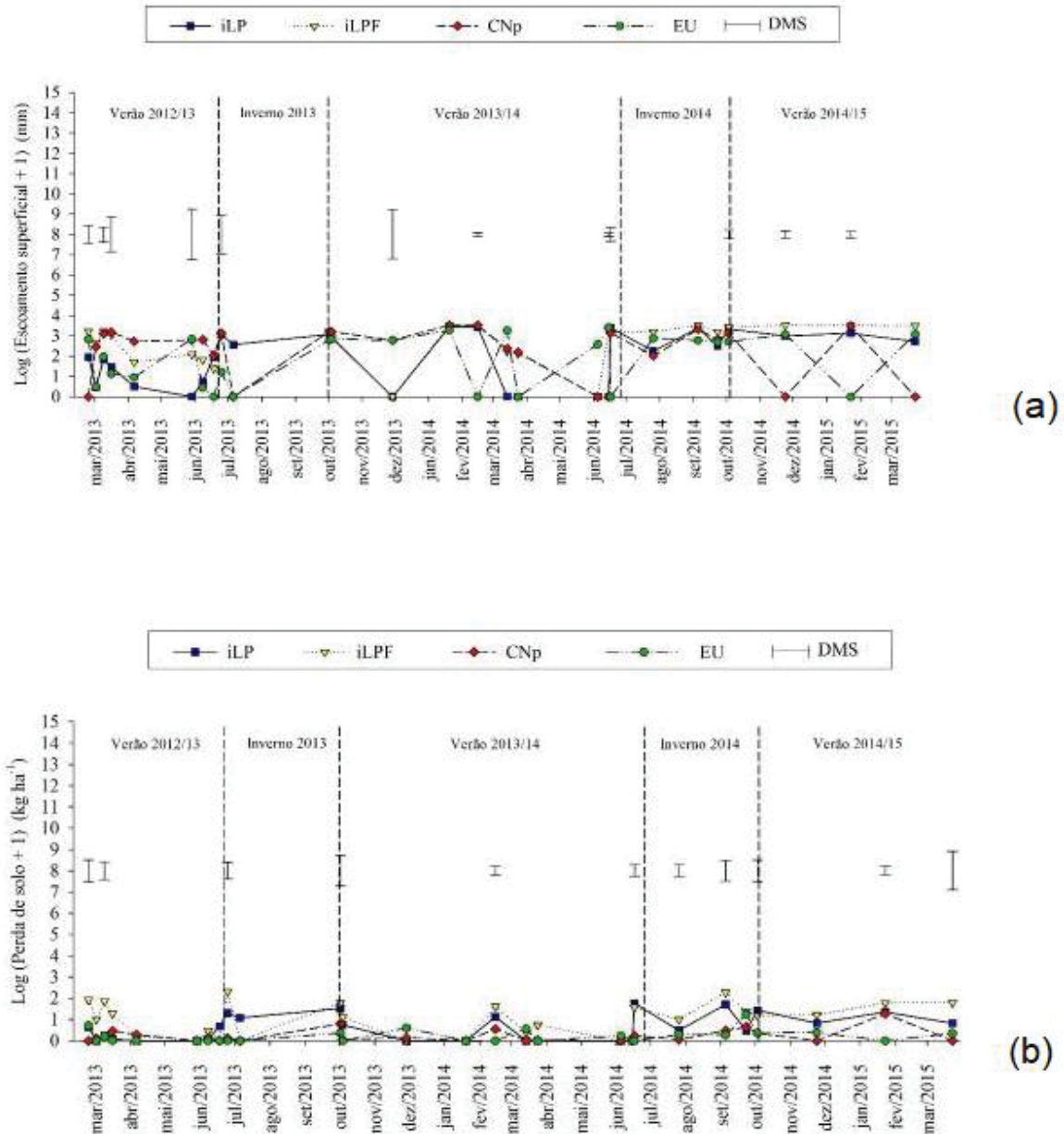
TABELA 6. Perdas acumuladas de água e solo por estação nos sistemas sob Integração Lavoura Pecuária (iLP); Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF); Campo Nativo Pastejado (CNp) e Plantio de Eucalipto (EU).

Safr ¹	Sistema	Precipitação	Perda de água	Coeficiente de escoamento ²	Perda de solo
			Mm		(kg ha ⁻¹)
Verão (Total)	iLP	2213	12,77	0,58	31,41
	iLPF		26,59	1,20	124,83
	CNp		19,1	0,86	8,23
	EU		9,35	0,42	4,38
Inverno (Total)	iLP	1102	6,96	0,63	40,22
	iLPF		11,11	1,00	127,03
	CNp		6,99	0,63	1,96
	EU		5,55	0,50	5,35
Verão 2012/2013 (fev/mar/abr)	iLP	364	0,19	0,05	1,22
	iLPF		4,97	1,37	50,22
	CNp		3,65	1,00	1,01
	EU		0,78	0,22	1,32
Inverno 2013 (mai/jun/jul/ago/set)	iLP	517	1,6	0,31	9,41
	iLPF		1,26	0,24	56,83
	CNp		2,75	0,53	0,20
	EU		0,72	0,14	0,01
Verão 2013/14 (out/nov/dez/jan/fev/mar/abr)	iLP	1323	7,56	0,57	13,70
	iLPF		9,1	0,69	33,03
	CNp		10,91	0,82	2,37
	EU		5,66	0,43	1,94
Inverno 2014 (mai/jun/jul/ago/set)	iLP	585	5,36	0,92	30,81
	iLPF		9,85	1,68	70,20
	CNp		4,24	0,72	1,76
	EU		4,83	0,83	5,34
Verão 2014/15 (out/nov/dez/jan/fev/mar/abr)	iLP	526	5,02	0,95	16,49
	iLPF		12,52	2,38	41,58
	CNp		4,54	0,86	5,28
	EU		2,91	0,55	1,12

¹ Safr verão: Janeiro, Fevereiro, março, Abril, Outubro, Novembro e Dezembro; Safr inverno: Maio, Junho, Julho, Agosto e Setembro.

² Coeficiente de escoamento = Perda de água do sistema/precipitação acumulada * 100.

FIGURA 9. Perda de água (a) e solo (b) via escoamento superficial no período de fev/2013 a abr/2015 nos sistemas de Integração Lavoura Pecuária (iLP); Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF); Campo Nativo Pastejado (CNp) e Plantio de Eucalipto (EU).



Além da maior precipitação no verão, o que possivelmente contribuiu para maiores perdas nos sistemas integrados, foi a implantação da cultura do milho no verão 2013/2014 e da cultura da soja no verão 2014/2015 (Tabela 3 cap 1). Observações de campo evidenciavam menor cobertura vegetal do solo (Figura 10), principalmente durante a fase inicial da implantação dessa cultura. Deve-se ressaltar que, após a colheita da cultura de verão, o solo permaneceu com a proteção superficial reduzida (ausência de cultura plantada) até o plantio da próxima cultura

(inverno). As maiores perdas no inverno de 2013 e de 2014 possivelmente estão relacionadas com a implantação das culturas de inverno (Aveia+Azevém) nos meses de abril e maio (Tabela 3 cap 1).

FIGURA 10. Vista parcial da cobertura vegetal na superfície do solo nos sistemas Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) e Plantio de Eucalipto (EU).



3.5.2 Concentração e perdas de nutrientes

3.5.2.1 Fósforo

As maiores concentrações médias ponderadas de fósforo solúvel na água de escoamento superficial foram encontradas na ordem iLPF > iLP > CNp > EU (Tabela 7). Os sistemas agrícolas sob integração não tiveram diferenças significativas entre si, apresentando valores de 0,21 mg L⁻¹ e 0,28 mg L⁻¹, no iLP e iLPF, respectivamente. Os sistemas sob CNp e plantio de eucalipto (EU) apresentaram valores bem menores de concentração (0,06 mg L⁻¹ e 0,02 mg L⁻¹, respectivamente).

TABELA 7. Concentração média ponderada de sedimentos totais, fósforo (P) e nitrogênio no período de fev/2013 a abr/2015 nos sistemas sob Integração Lavoura Pecuária (iLP); Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF); Campo Nativo Pastejado (CNp) e Plantio de Eucalipto (EU).

Sistema	Sedimentos totais	Fósforo (P)	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺
	(g L ⁻¹)	-----mg L ⁻¹ -----		
iLP	0,36 b	0,21 a	0,92 b	0,75 b
iLPF	0,66 a	0,28 a	1,65 a	1,21 a
CNp	0,05 c	0,05 b	0,16 c	0,09 c
EU	0,06 c	0,02 b	0,71 bc	0,16 c

N-NO₃⁻: nitrato; N-NH₄⁺: amônio; P: fósforo solúvel.

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade (P<0,05).

Entre os sistemas sob integração (iLP e iLPF), a perda de P solúvel foi maior no iLPF em todo o período avaliado (Tabela 8). Para as diferentes estações, tanto no verão como no inverno esses sistemas se destacaram em relação aos demais (CNp e EU) (Figura 11). Os fertilizantes aplicados no plantio e em cobertura são as principais fontes de nutrientes, seguido das fezes dos animais. Tendo em vista que o iLPF perdeu mais água (Tabela 5) e solo, este apresentou, no geral, maiores perdas de nutrientes que o iLP, apesar do manejo ter sido o mesmo.

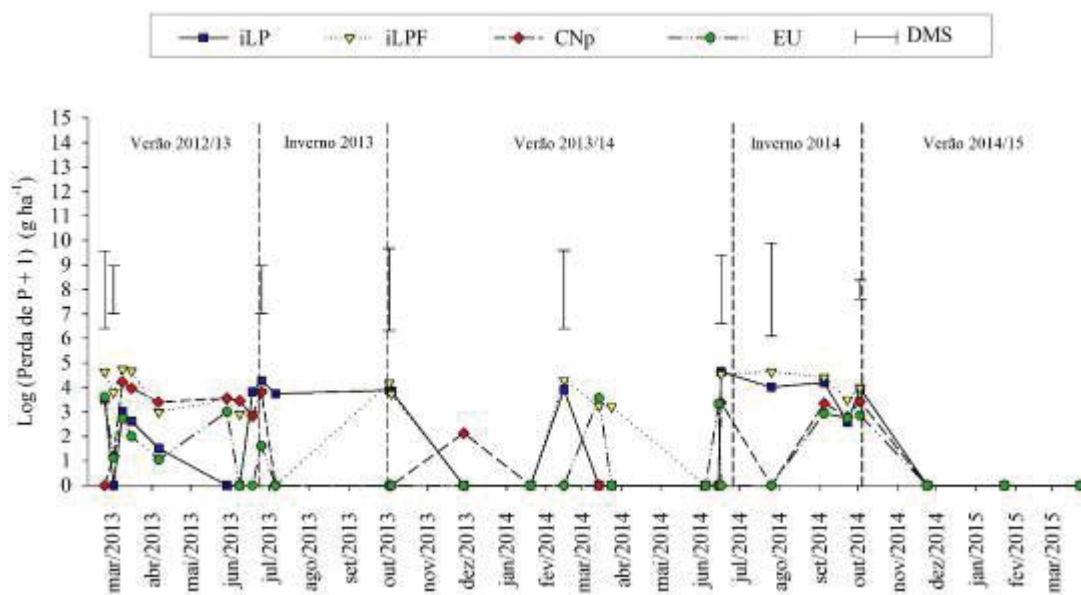
TABELA 8. Perda acumulada de fósforo e nitrogênio no período de fev/2013 a abr/2015 (2 anos) nos sistemas sob Integração Lavoura Pecuária (iLP); Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF); Campo Nativo Pastejado (CNp) e Plantio de Eucalipto (EU).

Sistema	P	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺
	-----g ha ⁻¹ -----		
iLP	38,77 b	154,4 b	132,2 b
iLPF	89,20 a	476,0 a	353,6 a
CNp	13,89 bc	37,21 b	27,12 c
EU	3,79 c	91,71 b	19,91 c

N-NO₃⁻: nitrato; N-NH₄⁺: amônio; P: fósforo solúvel.

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade (P<0,05).

FIGURA 11. Perda de fósforo (**P**) no período de fev/2013 a abr/ 2015 nos sistemas sob Integração Lavoura Pecuária (iLP); Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF); Campo Nativo Pastejado (CNp) e Plantio de Eucalipto (EU).



De acordo com a Resolução do CONAMA (Brasil, 2005), o limite máximo de fósforo total na água doce não deve ultrapassar $0,02 \text{ mg L}^{-1}$, assim, de acordo com os valores apresentados na Tabela 7, pode-se inferir que existe um potencial de poluição da água para todos os sistemas avaliados, caso o escoamento atinja os corpos d'água. Conforme Seganfredo et al. (1997) e Oliveira et al. (2015), a concentração de determinado elemento no escoamento superficial varia principalmente com sua concentração no solo, que é influenciada pelas fertilizações, manejo e tipo de solo. A quantidade total transportada, no entanto, depende tanto da concentração do elemento no escoamento, quanto do volume total desse material perdido.

Sistemas de natureza conservacionistas promovem uma elevação nos níveis de nutrientes nos primeiros centímetros de solo (Sharpley et al., 1994), aumentando assim, a concentração das formas solúveis no escoamento superficial (Bertol, 2005), merecendo atenção principalmente para o fósforo, a fim, de evitar eutrofização em canais fluviais próximos (Leinweber et al., 2002).

Nos sistemas EU e CNp, as perdas foram similares (Tabela 8), indicando a sustentabilidade destes ambientes e concordando com Martins et al. (2010). De

acordo com estes autores, os resultados de perdas de solo e água em plantios de eucalipto assemelharam-se à Mata Atlântica.

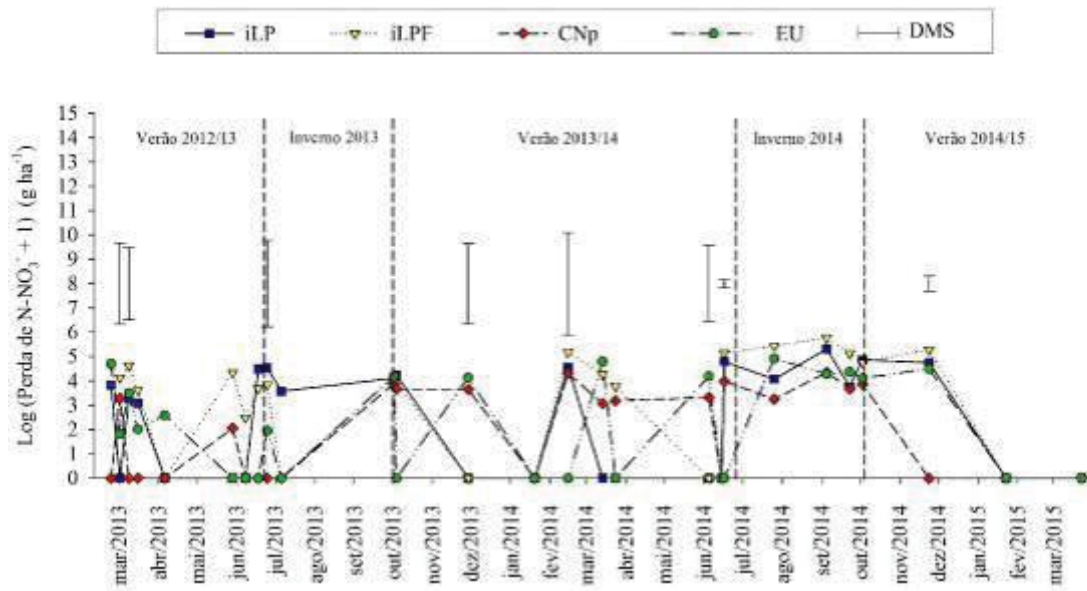
3.5.2.2 Nitrato (N-NO_3^-) e Amônio (N-NH_4^+)

A concentração média ponderada de nitrato no período seguiu a ordem $\text{iLPF} > \text{iLP} > \text{EU} > \text{CNp}$ (Tabela 7). O maior valor foi de $1,65 \text{ mg L}^{-1}$ no iLPF e o menor de $0,16 \text{ mg L}^{-1}$ no CNp. Igualmente, a maior perda acumulada de N-nitrato ocorreu no sistema iLPF ($238 \text{ g ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e a menor no sistema CNp ($18,6 \text{ g ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) (Tabela 8). Valores considerados baixos, do ponto de vista agronômico.

O manejo da fertilização nos sistemas agrícolas conservacionistas contribui para concentração dos nutrientes solúveis, assim, esperam-se maiores concentrações principalmente nos períodos de adubação das culturas. Observando a Figura 12, a perda de nitrato, de forma geral, foi maior no iLPF e iLP principalmente no verão, isso possivelmente em função da maior precipitação neste período bem como pelo manejo nestas áreas (implantação das cultura e fertilização). Contudo, considerando o limite permitido de nitrato (10 mg L^{-1} de N-NO_3^-) pela legislação (BRASIL, 2004; BRASIL, 2005), observa-se que a concentração média ponderada na água do escoamento superficial do período avaliado, está abaixo do limite máximo permitido.

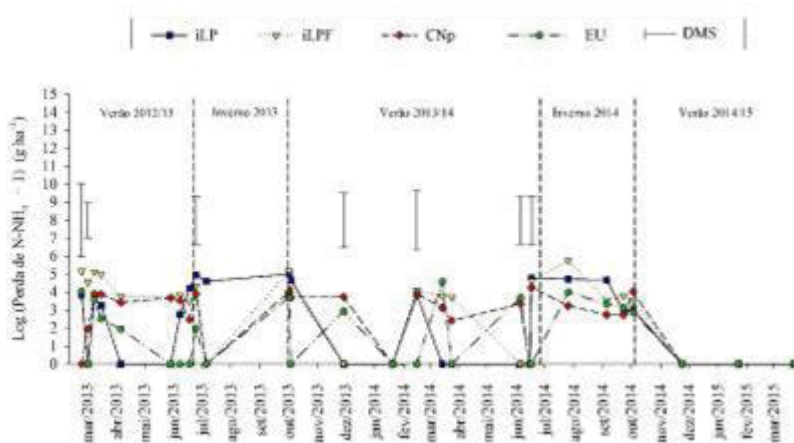
Sistemas que preconizam a conservação do solo e da água através da deposição de resíduos ao solo, podem aumentar a percolação pelos bioporos e macroporos, proporcionados pelos resíduos vegetais sob a superfície do solo e, permitindo que a água percolada contenha uma alta carga de nutrientes (Jansen et al., 1998) sem que sejam retidos na matriz do solo (Murphy et al., 2002). Portanto, em sistemas conservacionistas e de textura arenosa, mesmo com pequenas perdas de nutrientes via escoamento superficial, problemas de qualidade de água em subsuperfície podem ser encontrados (Resende, 2002).

FIGURA 12. Perda de nitrato (N-NO_3^-) no período de fev/2013 a abr/ 2015 (2 anos) nos sistemas sob Integração Lavoura Pecuária (iLP); Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF); Campo Nativo Pastejado (CNp) e Reflorestamento de Eucalipto (EU).



A concentração média ponderada de N-NH_4^+ variou de $1,21 \text{ mg L}^{-1}$ no iLPF e $0,09 \text{ mg L}^{-1}$ no CNp (Tabela 7). Tanto a concentração como as perdas acumuladas (Tabela 8) foram similares ao obtido para nitrato. Os sistemas iLP e iLPF apresentaram as maiores perdas acumuladas, $66,1$ e $176,8 \text{ g ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, respectivamente. Esses resultados corroboram com Coblinski, (2016), que também trabalhando em diferentes sistemas de uso do solo, verificou que as perdas nas encostas com lavouras acompanharam as perdas de água e foram maiores que as demais áreas. Durante o período de avaliação houve maiores perdas no verão (Figura 13).

FIGURA 13. Perda de amônio (N-NH_4^+) no período de fev/2013 a abr/ 2015 (2 anos) nos sistemas sob Integração Lavoura Pecuária (iLP); Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF); Campo Nativo Pastejado (CNp) e Reflorestamento de Eucalipto (EU).



Nos sistemas agrícolas integrados, apesar de não haver aplicações de dejetos bovinos, a presença do animal é constante, havendo entrada das formas de nitrogênio não apenas via adubação mineral, como também, mediante as excreções dos animais. Alguns estudos (Timofiecsyk, 2009; Silveira, 2011; Skalisz, 2013; Abboud, 2016), reportam que manejos que envolvem aplicações de dejetos líquido bovino em longo prazo, não afetaram as perdas de amônio via escoamento. Em contrapartida, afetou a mobilidade de nitrato, principalmente em Latossolos de textura arenosa, verificando-se acúmulo em profundidade com grande potencial de perda via subsuperfície.

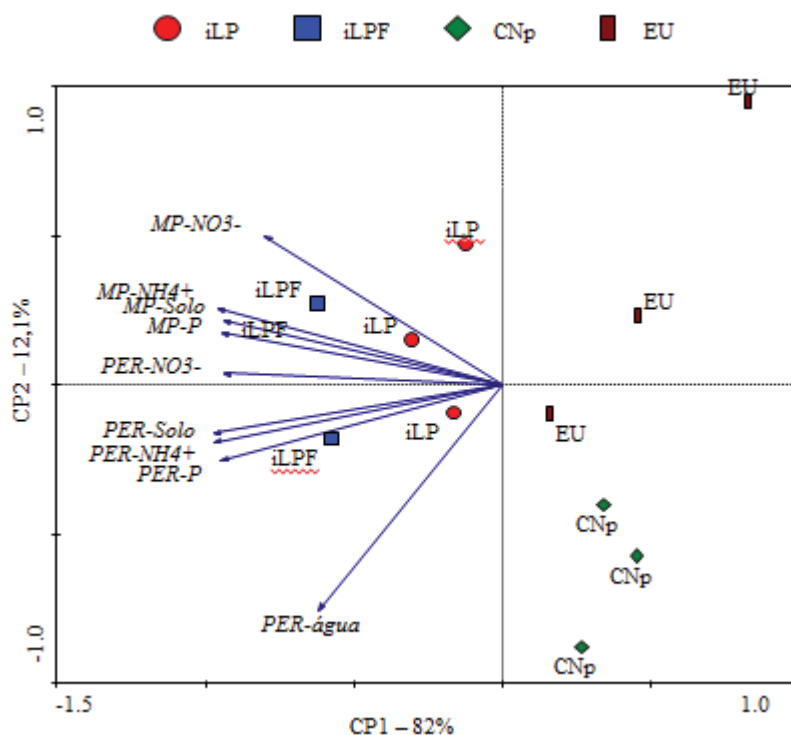
3.5.3 Análise de componentes principais relacionados com qualidade de água

De modo geral, observa-se que todos os parâmetros de qualidade de água foram importantes para diferenciar os sistemas (Figura 14). No entanto, conforme pode ser observado pela análise de CP1, apesar das perdas de água registradas nos sistemas CNp e EU (Tabela 5), não houve perdas significativas de solo e nutrientes nesses sistemas, possivelmente devido ao manejo que não envolve a entrada de fertilizantes nas áreas. Já nos sistemas agrícolas (iLP e iLPF) houve perdas significativas de solo, NH_4^+ e P. Para a CP2, os atributos que mais se destacaram foram as perdas e concentrações de solo, NO_3^- , concentração de P e NH_4^+ , explicando 12,1% do comportamento dos sistemas. Nos sistemas iLPF e iLP,

os valores de perdas de solo, água e nutrientes (Tabelas 5, 7 e 8) confirmam os resultados da CP1.

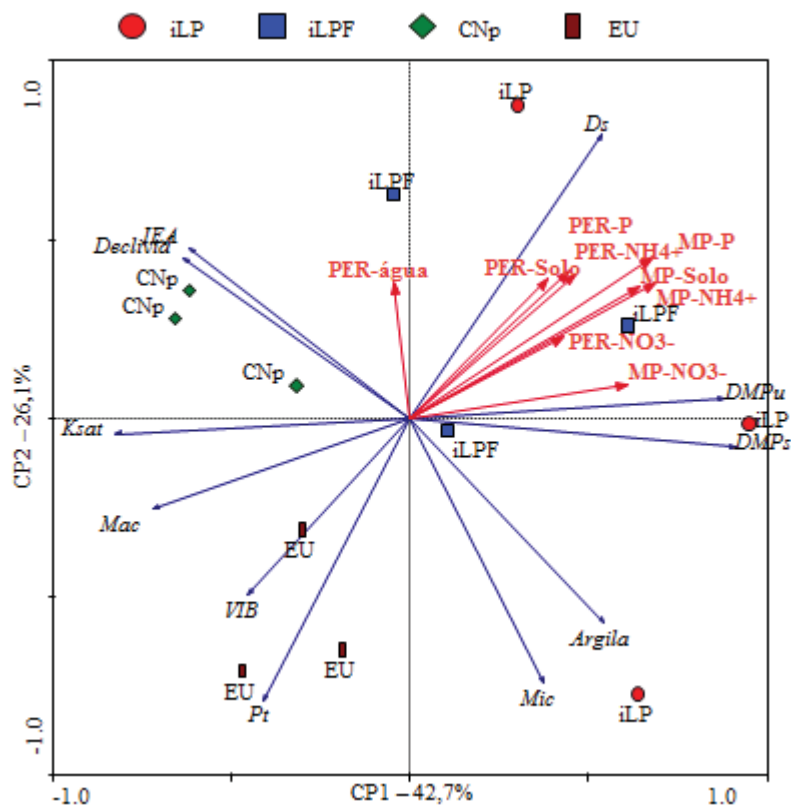
De modo geral, a melhor qualidade da água foi nos sistemas (CNp e EU) seguido pelos sistemas agrícolas (iLP e iLPF).

FIGURA 14. Análise de componentes principais das perdas solo (PER-Solo) e de água (PER-água) e da concentração (MP-P, NO_3^- , NH_4^+) e perda (PER- P, NO_3^- , NH_4^+) de nutrientes nos sistemas sob Integração Lavoura Pecuária (iLP); Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF); Campo Nativo Pastejado (CNp) e Plantio de Eucalipto (EU).



Todos os atributos físicos contribuíram na qualidade da água, não sendo possível definir qual atributo teve maior importância (Figura 15). No entanto, observa-se que a argila e a declividade não foram determinantes na determinação das diferenças entre os sistemas. A primeira componente principal (CP1) foi explicada pelas variáveis que definiram a retenção de água no solo e a estrutura do solo (Figura 15). Além disso, os sistemas iLPF e iLP foram os que mais contribuíram para as perdas de solo, água e nutrientes via escoamento superficial, confirmando os resultados obtidos (Tabelas 7 e 8).

FIGURA 15. Análise de componentes principais das perdas solo, água e nutrientes correlacionada com teor de argila total, índice de estabilidade agregados (IEA), porosidade total (Pt), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro), condutividade hidráulica saturada (Ksat) e velocidade de infiltração básica (VIB) nos sistemas sob Integração Lavoura Pecuária (iLP); Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF); Campo Nativo Pastejado (CNp) e Plantio de Eucalipto (EU).



Os sistemas não agrícolas (FN e CNp) estão no sentido contrário às setas com os maiores valores de perdas de solo, perdas e concentração de nutrientes solúveis, com menores valores de VIB e Macro, atributos que influenciam seu comportamento para as perdas via escoamento superficial, confirmando os valores encontrados (Tabela 4 e Figura 6 cap 1). De modo geral, observa-se melhor qualidade da água nos sistemas (CNp e EU) e na sequência os sistemas agrícolas sob integração (iLP e iLPF).

3.6 CONCLUSÕES

- 1- Os sistemas de uso e manejo do solo influenciaram a qualidade da água de escoamento superficial. As perdas de água e solo via escoamento superficial, de um modo geral, embora com valores muito baixos, foram maiores nos sistemas agrícolas.
- 2- Entre os sistemas agrícolas sob integração, o sistema iLPF apresentou maiores perdas de água, solo, concentração e perdas de nutrientes em relação ao iLP em todo o período avaliado.
- 3- A sazonalidade (inverno/verão) influenciou as perdas de água, solo e nutrientes, com maiores perdas no verão.

3.7. REFERÊNCIAS

ABBOUD, F. Y. Mobilidade de nutrientes no perfil do solo em plantio direto com aplicação de dejetos líquido bovino em longo prazo. 2016. 72p. (Dissertação Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.

ALAVARENGA, R. C.; PORFÍRIO DA SILVA, V.; GONTIJO NETO, M. N.; VIANA, M. C. M.; VILELA, L. Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: condicionamento do solo e intensificação da produção de lavouras. Informe Agropecuário, 31(257): 1-9, 2010b.

APHA, A.E.G.; AWWA, A.D.E.; WEF, L.S.C. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19 ed. Washington D.C.: American Public Health Association, 1995.

BALBINO, L. C.; BARCELOS, A. O. & STONE, L. F. Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta. Brasília, Embrapa Solos. 2011., 130p.

BALIEIRO, F. C.; FRANCO, A. A.; FONTES, R. L. F.; DIAS, L. E.; CAMPELLO, E. F. C.; FARIA, S. M. Evaluation of the throughfall and stemflow nutrient contents in

mixed and pure plantations of *Acacia mangium*, *Pseudosamanea guachapele* and *Eucalyptus grandis*. Rev. Árvore, 31:2-339-346, 2007.

BERTOL, I.; GOBBI, E.; BARBOSA, F. T.; FERREIRO, J. P.; GEBLER, L.; RAMOS, J. C. & WERNER, R. S. Erosão hídrica em campo nativo sob diversos manejos: perdas de água e solo e de fósforo, potássio e amônio na água de enxurrada. Rev. Bras. Ci. Solo, 35:1421-1430, 2011.

BERTOL, O. J. Contaminação da água de escoamento superficial e da água percolada pelo efeito de adubação mineral e adubação orgânica em sistema de semeadura direta. Tese (doutorado). Universidade Federal do Paraná –Curitiba, 209p. 2005.

BORTOLOZO, F. R.; FAVARETTO, N.; DIECKOW, J.; MORAES, A.; VEZZANI, F. M. & SILVA, É. D. B. Water, Sediment and Nutrient Retention in Native Vegetative Filter Strips of Southern Brazil. International Journal of Plant & Soil Science, 4(5):426-436, 2015.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução CONAMA nº. 357. Diário Oficial da União de 18/03/2005. Brasília, 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Consultada em 14/10/2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde, Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Portaria MS nº 518/2004. Brasília, 2004.

CÂNDIDO, B. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N. & BATISTA, P. V. G. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na Bacia do Rio Paraná, no Leste do Mato Grosso do Sul. Rev. Bras. Ci. Solo, 38:1565-1575, 2014.

CASSOL, E.A. & LIMA, V.L. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. Pesq. Agropec. Bras., 38: 117-124, 2003.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. & PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio direto, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 22: 527-538, 1998.

CHAPMAN, D. *Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. 2.ed. London: UNESCO, WHO, UNEP, 1996.

COBLINSKI, J. A. Perdas de solo, água e nutrientes via escoamento superficial em sistemas de uso e manejo do solo. 2016. 38 p. (Dissertação Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.

DANIEL, T. C.; SHARPLEY, A.N. & LEMUNYON, J. L. Agricultural phosphorus and eutrophication: a symposium overview. *Journal of Environmental Quality*, 27: 251-257, 1998.

DERPSCH, R., ROTH, C. H., SIDIRAS, N., KÖPKE, U. Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Schborn: GTZ/Londrina: IAPAR. 1991., 272p.

FOLLETT, R. F. & STEWART, B. A. *Soil Erosion and Crop Productivity*. Soil Science Society of America, Inc., Madison, (Editor). 1985., p. 189-211.

GALLOWAY, J.N.; DENTENER, F.J.; CAPONE, D.G.; BOYER, E.W.; HOWARTH, R.W.; SEITZINGER, S.P.; ASNER, G.P.; CLEVELAND, C.; GREEN, P.A.; HOLLAND, E.; KARL, D.M.; MICHAELS, A.; PORTER, J.H.; TOWNSEND, A.; VOROSMARTY, C. Nitrogen cycles: past, present, and future. *Biogeochemistry*, 70: 153–226, 2004.

HARROD, T.R.; THEURER, F.D. Sediment. In: Haygarth, P.M. & Jarvis, S.C. (eds). *Agriculture, Hydrology and Water Quality*. Cabi Publissing, United Kingtons. 2002., p. 155-169.

HATCH, D.; KEITH, G.; MURPHY, D. Nitrogen. In *Agriculture, Hydrology and Water Quality*. 2002., p. 19 e 21.

HAYGARTH, P.M. & JARVIS, S.C. Agriculture, hydrology and water quality. CAB International, Cambridge. 2002., 502p.

HEINZMANN, F. X.; MIYAZAVA, M. & PAVAN, M. A. Determinação de nitrato por espectrofotometria de absorção ultravioleta. Rev. Bras. Ci. Solo, 8: 159-163, 1984.

JENSEN, M.B.; JORGENSEN, P.R.; HANSEN, H.C.B.; NIELSEN, N. E. Bioporo mediated subsurface transport of dissolved orthophosphate. J. Environ. Qual. 27: 1330-1337, 1998.

JIAO, Y.; WHALEN, J. K. & HENDERSHOT, W. H. No-tillage and manure applications increase aggregation and improve nutrient retention in a sandy-loam soil. Geoderma, 134: 24-33, 2006.

KAY, P.; EDWARDS, A.C. & FOULGER, M. A review of the efficacy of contemporary agricultural stewardship measures for ameliorating water pollution problems of key concern to the UK water industry. Agric. Syst., 99:67-75, 2009.

LAL, R. Soil erosion research methods. 2ed. Water Conservation Society, Ankeny, 1994.

LEINWEBER, P.; TURNER, B. L.; MEISSNER, R.; Phosphorus. In: Haygarth, P.M. & Jarvis, S.C. (eds). Agriculture, Hydrology and Water Quality. Cabi Publissing, United Kingtons. 2002., p. 29-56.

LIMA, W. P. Interceptação da chuva em povoamentos de eucalipto e de pinheiro. IPEF, Piracicaba, 13: 75-90, 1976.

MARTINS, S.G.; SILVA, M.L.N.; AVANZI, J.C.; CURI, N. & FONSECA, S. Fator cobertura e manejo do solo e perdas de solo e água em cultivo de eucalipto e em Mata Atlântica nos Tabuleiros Costeiros do estado do Espírito Santo. Sci. For., 38:517-526, 2010.

MCCASLAND, M.; TRAUTMANN, N. M.; PORTER, K.S.; & WAGENET, R. J. Nitrate: Health Effects in Drinking Water. Cornell Cooperative Extension, Fact Sheet. 1985., p. 400 - 402.

MELLO, E.L.; BERTOL, I.; ZAPAROLLI, V. & CARRAFA, M.R. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo háplico submetido à chuva simulada. Rev. Bras. Ci. Solo, 27: 901-909, 2003.

MERTEN, G.H.; ARAÚJO, A.G.; BISCAIA, R.C.M.; BARBOSA, G.M.C.; CONTE, O. No-till surface runoff and soil losses in southern Brazil. Soil & Tillage Research. 152: 85–93, 2015.

MERTEN, G. H. & MINELLA, J.P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. Agroecol. & Desenv. Rur. Sustent. 3: 4, 2002.

MORAES, A., CARVALHO, P.C.F., ANGHINONI, I., LUSTOSA, S.B.C., COSTA, S.E.V.G.A. & KUNRATH, T.R. Integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics. European Journal of Agronomy. 57:4-9, 2014.

MORAES, A.; PELISSARI, A.; ALVES, S.J.; CARVALHO, P.C.F. & CASSOL, L.C. Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil. In: MELLO, N.A. & ASSMANN, T.S., eds. ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL. 2002., p.3-42.

MURPHY, D.; GOULDING, K & HATCH, D. Nitrogen. In: Haygarth, P.M. & Jarvis, S.C. (eds). Agriculture, Hydrology and Water Quality. Cabi Publissing, United Kingtons. 2002., p. 7-29.

OLIVEIRA, L. C. Erosão hídrica e alguns processos hidrológicos em plantios de Pinus, Mata e Campo nativos e Estrada florestal. 2012. 93p. (Tese Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC.

OLIVEIRA, L. C.; BERTOL, ILDEGARDIS.; BARBOSA, F. T.; CAMPOS, M. L.; JUNIOR, J. M. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica em uma estrada florestal na Serra Catarinense. *Ciência Florestal*, Santa Maria. 25(3): 655-665, 2015.

PALM, C.; BLANCO-CANQUI, H.; CLERCKC, F.; GATERE, L.; GRACE, P. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2013, 20p.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; SOBRINHO, T. A.; OLIVEIRA, P. T. S. & RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 35:1777-1785, 2011.

PIERZYNSKY, G.M., SIMS, J.T. & VANCE, G.F. *Soils and environmental quality*. 2.ed. New York, CRC Press, 2005. 584p.

RAMOS, M. R. Atributos físicos e perda de solo, água e nutrientes em encostas sob sistema de produção de hortaliças convencional e orgânico. 2009. 74p. (Dissertação de Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.

RAMOS, M.R., FAVARETTO, N., DIECKOW, J., DEDECK, R.A., VEZZANI, F.M., ALMEIDA, L. & SPERRIN, M. Soil, water and nutrient loss under conventional and organic vegetable production managed in small farms versus forest system. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*. 115:31-40, 2014.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & SILVA, V.R. Compactação do solo em sistema de plantio direto: Limites críticos e mitigação. In: COUTO, E.G. & BUENO, J.F., eds. *Os (des) caminhos do uso da água na agricultura brasileira*. Cuiabá, UFMT, SBCS, 2004. p.167-198.

RESENDE AV. *Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato*. Documentos 57, Planaltina: Embrapa Cerrados. 2002., 29p.

SASAL, M. C.; CASTIGKIONI, M. G.; WILSON, M.G. Effect of crop sequences on soil properties and runoff on natural-rainfall erosion plots under no tillage. *Soil & Tillage Research*, 108: 24-29, 2010.

SEGANFREDO, M. L.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 21: 287-291, 1997.

SHARPLEY, A. N.; McDOWELL, R. W.; KLEINMAN, J. A. Phosphorus loss from land to water: Integrating agricultural and environmental management. *Plant Soil*, 237: 287-307, 2001.

SHARPLEY, A. N.; TIESSEN, H. C. Soil phosphorus forms extracted by tests as a function of pedogenesis. *Soil Sci Soc Am J*. 51: 362-365.

SHARPLEY, A.N.; CHAPRA, S.C.; WEDEPOHL, R.; SIMS, J.T.; DANIEL, T.C.; REDDY, K.R. Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: issue and options *J. Environ. Qual.*, 23: 437-451, 1994.

SHIGAKI, F.; SHARPLEY, A.; PROCHNOW, L. I.; Source-related transport of phosphorus in surface runoff. *J. Environ. Qual.* 35: 2229- 2235, 2006.

SILVA, A.P.; LIBARD I, P.L. & CAMARGO, O.A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 10:91-95, 1986.

SILVEIRA , F. DE M.; FAVARETTO, N.; DIECKOW, J.; PAULETTI, V.; VEZZANI, F M.; SILVA, E. D. B. Dejeito líquido bovino em plantio direto: perda de carbono e nitrogênio por escoamento superficial. *Rev. Bras. Ci. Solo*. 35 (5): 1759-1768, 2011.

SKALISZ, R. Aplicação de dejeito líquido bovino a longo prazo em plantio direto: perdas de água, solo e nutrientes via escoamento superficial. 2013.41p.

(Dissertação Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.

TAKEDA, I.; FUKUSHIMA, A.; SOMURA, H. Long-term trends in water quality in a under-populated watershed and influence of precipitation. *Journal of Water and Environment Technology*, 7: 4, 2009.

TIMOFIECSYK, A.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V. & DIECKOW, J. Perdas de carbono e nitrogênio com aplicação de dejetos líquidos bovinos em latossolo muito argiloso sob plantio direto e chuva natural. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 36: 1924-1930, 2012.

VOLK, L.B.S.; COGO, N.P. & STRECK, E.V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 28:763-774, 2004.

4 CONCLUSÕES GERAIS

1. Os sistemas de uso e manejo influenciaram na qualidade física do solo. Os melhores resultados nos atributos físicos foram obtidos nos sistemas com maior biomassa e cobertura do solo e menor revolvimento do solo, seguindo a ordem: FN, CNnp, CNp, EU > que os sistemas agrícolas.
2. Entre os sistemas de produção agrícola sob plantio direto (iLP, iLPF e PD), as propriedades físicas do solo foram alteradas pelo manejo. De modo geral observou-se melhor qualidade física no sistema iLP nas camadas superficiais do solo, enquanto que o sistema PD com lavoura contínua, apresentou os menores índices estruturais (IEA) e hidráulicos (VIB e Ksat) do solo.
3. Os sistemas de uso e manejo do solo influenciaram aa qualidade da água. As perdas de água e solo via escoamento superficial, de um modo geral, embora com valores muito baixos, foram maiores nos sistemas agrícolas.
4. Entre os sistemas agrícolas sob integração, o sistema iLPF, apresentou maiores perdas de água, solo, concentração e perdas de nutrientes no escoamento superficial em relação ao iLP em todo o período avaliado.
5. A sazonalidade (inverno/verão) influenciou as perdas de água, solo e nutrientes, com maiores perdas no verão.

5 REFERÊNCIAS GERAIS

ABBOUD, F. Y. Mobilidade de nutrientes no perfil do solo em plantio direto com aplicação de dejetos líquido bovino em longo prazo. 2016. 72p. (Dissertação Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.

ALVARENGA, R. C.; PORFÍRIO DA SILVA, V.; GONTIJO NETO, M. N.; VIANA, M. C. M.; VILELA, L. Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: condicionamento do solo e intensificação da produção de lavouras. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 31(257): 1-9, 2010b.

ALVES, M. C. & CABEDA, M. S.V. Infiltração de água em um Podzólico VermelhoEscuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades. Rev. Bras. Ci. Solo, 23: 753-761, 1999.

AMADO, T. J. C.; CONCEIÇÃO, P.C.; BAYER, C. & ELTZ, F.L.F. Qualidade do solo avaliada pelo “*Soil Quality Kit*” em dois experimentos de longa duração no Rio Grande do Sul. Rev. Bras. Ci. Solo, 31: 109-121, 2007.

APHA, A.E.G.; AWWA, A.D.E.; WEF, L.S.C. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19 ed. Washington D.C.: American Public Health Association, 1995.

ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado sob mata nativa. Rev. Bras. Ci. Solo, 28: 337-345, 2004.

BALBINO, L. C.; BARCELOS, A. O. & STONE, L. F. Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta. Brasília, Embrapa Solos. 2011, 130 p.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; OLIVEIRA, P.; KLUTHCOUSKI, J.; GALERANI, P. R.; VILELA, L. Agricultura Sustentável por meio da Integração

Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF). Informações Agronômicas nº 138- Junho/2012. Piracicaba, International Plant Nutrition Institute- Brasil Embrapa Solos, 2012, 18 p.

BALIEIRO, F. C.; FRANCO, A. A.; FONTES, R. L. F.; DIAS, L. E.; CAMPELLO, E. F. C.; FARIA, S. M. Evaluation of the throughfall and stemflow nutriente contents in mixed and pure plantations of *Acacia mangium*, *Pseudosamanea guachapele* and *Eucalyptus grandis*. Rev. Árvore, 31:2-339-346, 2007.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S. da; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A. de O. (Ed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole. 2008., p.7-18.

BERTOL, I. BEUTLER, J.F.; LEITE, D. & BATISTELA, O. Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. Scientia Agrícola, 58: 3, 2001.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J.A. de; ALMEIDA, E.X. de; KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem capim elefante anão cv. Mott. Pesq. Agropec. Bras., 35:1047-1054, 2000.

BERTOL, I.; GOBBI, E.; BARBOSA, F. T.; FERREIRO, J. P.; GEBLER, L.; RAMOS, J. C. & WERNER, R. S. Erosão hídrica em campo nativo sob diversos manejos: perdas de água e solo e de fósforo, potássio e amônio na água de enxurrada. Rev. Bras. Ci. Solo, 35:1421-1430, 2011.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; MASSARIOL, J.M.; REIS, E.F. & DILLY, L. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico álico afetadas pelo manejo do solo. Ci. Rural, 30:91-95, 2000.

BERTOL, O. J. Contaminação da água de escoamento superficial e da água percolada pelo efeito de adubação mineral e adubação orgânica em sistema de

semeadura direta. Tese (doutorado). Universidade Federal do Paraná –Curitiba, 209p. 2005.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods. 2 nd ed. Madison: American Society of Agronomy. 1986., p. 425-442.

BORTOLOZO, F. R.; FAVARETTO, N.; DIECKOW, J.; MORAES, A.; VEZZANI, F. M. & SILVA, É. D. B. Water, Sediment and Nutrient Retention in Native Vegetative Filter Strips of Southern Brazil. International Journal of Plant & Soil Science, 4(5):426-436, 2015.

BOWER, H. Intake rate: cylinder infiltrometer. In: Klute A., ed. Methods of Soil Analysis. Wisconsin: American Society of Agronomy, cap. 32, p.825-844, 1986.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução CONAMA nº. 357. Diário Oficial da União de 18/03/2005. Brasília, 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Consultada em 14/10/2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde, Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Portaria MS nº 518/2004. Brasília, 2004.

CÂNDIDO, B. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N. & BATISTA, P. V. G. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na Bacia do Rio Paraná, no Leste do Mato Grosso do Sul. Rev. Bras. Ci. Solo, 38:1565-1575, 2014.

CASSOL, E.A. & LIMA, V.L. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. Pesq. Agropec. Bras., 38: 117-124, 2003.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. & PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo roxo

distrófico, em função de sistemas de plantio direto, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 22: p.527-538, 1998.

CASTRO, O. M. DE; VIEIRA, S. R.; SIQUEIRA, G. M.; ANDRADE, C. A. DE. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho eutroférico sob diferentes sistemas de preparo. *Bragantia*, 68: 1047-1057, 2009.

CAVALIERI, K. M. V. Aspectos metodológicos da pesquisa sobre compactação e qualidade física do solo. 2007. 72 p. (Tese Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade de São Paulo, Escola de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba-SP.

CAVALIERI, K. M. V.; CARVALHO, L. A. DE.; SILVA, A. P. DA.; LIBARDI, P. L. & TORMENA, C. A. Qualidade física de três solos sob colheita mecanizada de cana-de-açúcar. *R. Bras. Ci. Solo*, 35: 1541-1549, 2011.

CHAPMAN, D. Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. 2.ed. London: UNESCO, WHO, UNEP, 1996.
COBLINSKI, J. A. Perdas de solo, água e nutrientes via escoamento superficial em sistemas de uso e manejo do solo. 2016. 38 p. (Dissertação Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.

COSTA, ANDRÉ.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, Á. L. & F. R. DA SILVA. Propriedades físicas do solo em sistemas de manejo na integração agricultura-pecuária. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 33: 235-244, 2009.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 27:527-535, 2003.

DANIEL, T. C.; SHARPLEY, A.N. & LEMUNYON, J. L. Agricultural phosphorus and eutrophication: a symposium overview. *Journal of Enviromental Quality*, 27: 251-257, 1998.

DERPSCH, R., ROTH, C.H., SIDIRAS, N. & KÖPKE, U. Controle da erosão no Paraná, Brasil. In: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista. Iapar, Londrina, 1991, 272p.

DEXTER, A.R. Soil physical quality: Part II. Friability, tillage, tilth and hard-setting. *Geoderma*, 120: 215–225, 2004.

DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, SSSA. 1994., p.1-20.

DORAN, J.W., ZEISS, M.R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology* 15 (3):11, 2000.

DUFRANC, G.; DECHEN, S. C. F.; FREITAS, S. S.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. *Rev. Bras. Ci Solo*, 28: 3. 505-517, 2004.

DUTARTRE, Ph.; BARTOLI, F.; ANDREUX, F.; PORTAL, J. M.; ANGERS, A. Influence of content and nature of organic matter on the structure of some sandy soils from West Africa. In: BRUSSAARD, L.; KOOISTRA, M. J. (Ed.). Soil structure/soil biota interrelationships. Amsterdam: Elsevier, 1993. p. 459-478.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solos. 2ed. Rio de Janeiro. 1997., 212p.

EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE. Banco de dados climáticos do Brasil. Disponível em: <[http:// www.bdclima.cnpm.embrapa.br](http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br)>. Acesso em: 28/03/2014.

FAO, Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. Escassez e degradação dos solos e da água ameaçam segurança alimentar. Presente em: <https://www.fao.org.br/edsaasa.asp>. Consulta em: 15/06/2014.

FERREIRA, S. A. Avaliação visual da estrutura e macrofauna edáfica em sistemas de uso do solo no Subtropical Brasileiro. 2015. 41 p. (Dissertação Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.

FOLLETT, R. F. & STEWART, B. A. Soil Erosion and Crop Productivity. Soil Science Society of America, Inc., Madison, (Editor). 1985., p. 189-211.

FRITZSON, E.; MANTOVANI, L. E.; PRATES, V.; WREGE, M. S. Caracterização ambiental de duas regiões do Bioma Mata Atlântica no Paraná e sua importância para estudos em serviços ambientais. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica. Eds. Embrapa Floresta. Brasília, DF, 2015. p. 37-46.

GALLOWAY, J.N.; DENTENER, F.J.; CAPONE, D.G.; BOYER, E.W.; HOWARTH, R.W.; SEITZINGER, S.P.; ASNER, G.P.; CLEVELAND, C.; GREEN, P.A.; HOLLAND, E.; KARL, D.M.; MICHAELS, A.; PORTER, J.H.; TOWNSEND, A.; VOROSMARTY, C. Nitrogen cycles: past, present, and future. *Biogeochemistry*, 70: 153–226, 2004.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-size Analysis. In: KLUTE, A. (Ed.). *Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods*. Second Edition, Madison: American Society of Agronomy. 1986., p. 383 – 409.

HARROD, T.R.; THEURER, F.D. Sediment. In: Haygarth, P.M. & Jarvis, S.C. (eds). *Agriculture, Hydrology and Water Quality*. Cabi Publishing, United Kingdom. 2002., p. 155-169.

HATCH, D.; KEITH, G.; MURPHY, D. Nitrogen. In *Agriculture, Hydrology and Water Quality*. 2002., p. 19 e 21.

HAYGARTH, P.M. & JARVIS, S.C. Agriculture, hydrology and water quality. CAB International, Cambridge. 2002, 502p.

HEINZMANN, F. X.; MIYAZAVA, M. & PAVAN, M. A. Determinação de nitrato por espectrofotometria de absorção ultravioleta. Rev. Bras. Ci. Solo, 8: 159-163, 1984.

IAPAR. Cartas climáticas básicas do estado do Paraná. Londrina, Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, 1978.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. Contextualização do Parque Estadual de Vila Velha. In: INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. Plano de manejo: Parque Estadual de Vila Velha. Curitiba, 2004a. Disponível: <http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Plano_de_Manejo/PE_VilaVelha/PEVV_encarte1.pdf>. Acesso em 20 /08/ 2014.

JENSEN, M.B.; JORGENSEN, P.R.; HANSEN, H.C.B.; NIELSEN, N. E. Bioporo mediated subsurface transport of dissolved orthophosphate. J. Environ. Qual. 27: 1330-1337, 1998.

JIAO, Y.; WHALEN, J. K. & HENDERSHOT, W. H. No-tillage and manure applications increase aggregation and improve nutrient retention in a sandy-loam soil. Geoderma, 134: 24-33, 2006.

KARLEN, D. L. & STOTT, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, SSSA. (Special, 35). 1994., p.53-72.

KAY, P.; EDWARDS, A.C. & FOULGER, M. A review of the efficacy of contemporary agricultural stewardship measures for ameliorating water pollution problems of key concern to the UK water industry. Agric. Syst., 99:67-75, 2009.

KEMPER, W.D. & ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. Methods of soil analysis. Madison American Society of Agronomy. 1986., p.425-442.

KEMPER, W.D. & ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, KLEIN, V. A. Física do solo. 3.ed. Passo Fundo: EDIUPF. 2014., 263p.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. Ci.. Rur., Santa Maria, 32(6): 945-953, 2002.

LAL, R. Soil erosion research methods. In: Water Conservation Society. Second edition. 1994, p. 3-14.

LAL, R.; FOLLETT, R.F.; KIMBLE, J.; COLE, C.V. Managing U.S. cropland to sequester carbon in soil. Journal of Soil and Water Conservation, 5: 374-381, 1999.

LAURINDO, M. C O.; NÓBREGA, L. H. P.; PEREIRA, J. O.; MELO, D.; LAURINDO, E. L. atributos físicos do solo e teor de carbono orgânico em sistemas de plantio direto e cultivo mínimo. Engenharia na agricultura, Viçosa - MG, v.17 n.5, 2009.

LEINWEBER, P.; TURNER, B. L.; MEISSNER, R.; Phosphorus. In: Haygarth, P.M. & Jarvis, S.C. (eds). Agriculture, Hydrology and Water Quality. Cabi Publissing, United Kingtons. 2002., p. 29-56.

LIBARDI, P.L. Dinâmica da Água no Solo. São Paulo, Edusp – Editora da Universidade de São Paulo. 2005., 335p.

LIMA, W. P. Interceptação da chuva em povoamentos de eucalipto e de pinheiro. IPEF, Piracicaba, 13: 75-90, 1976.

MARTINS, S.G.; SILVA, M.L.N.; AVANZI, J.C.; CURI, N. & FONSECA, S. Fator cobertura e manejo do solo e perdas de solo e água em cultivo de eucalipto e em

Mata Atlântica nos Tabuleiros Costeiros do estado do Espírito Santo. Sci. For., 38:517-526, 2010.

MCCASLAND, M.; TRAUTMANN, N. M.; PORTER, K.S.; & WAGENET, R. J. Nitrate: Health Effects in Drinking Water. Cornell Cooperative Extension, Fact Sheet. 1985., p. 400 - 402.

MELLO, E.L.; BERTOL, I.; ZAPAROLLI, V. & CARRAFA, M.R. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um nitossolo háplico submetido à chuva simulada. Rev. Bras. Ci Solo, 27:901-909, 2003.

MERTEN, G.H.; ARAÚJO, A.G.; BISCAIA, R.C.M.; BARBOSA, G.M.C.; CONTE, O. No-till surface runoff and soil losses in southern Brazil. Soil & Tillage Research. 152: 85–93, 2015.

MERTEN, G. H. & MINELLA, J.P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. Agroecol. & Desenv. Rur. Sustent. 3: 4, 2002.

MESQUITA, M.G. B. F. & MORAES, S.E. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. Ciência Rural, 34: 963 – 969, 2004.

MIGUEL, F. R. M.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. Variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio. Pesq. Agropec. Bras., 44: 1513-1519, 2009.

MORAES, A., CARVALHO, P.C.F., ANGHINONI, I., LUSTOSA, S.B.C., COSTA, S.E.V.G.A. & KUNRATH, T.R. Integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics. European Journal of Agronomy. 57:4-9, 2014.

MORAES, A.; PELISSARI, A.; ALVES, S.J.; CARVALHO, P.C.F. & CASSOL, L.C. Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil. In: MELLO, N.A. & ASSMANN, T.S.,

eds. ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL. 2002., p.3-42.

MURPHY, D.; GOULDING, K & HATCH, D. Nitrogen. In: Haygarth, P.M. & Jarvis, S.C. (eds). Agriculture, Hydrology and Water Quality. Cabi Publissing, United Kingtons. 2002., p. 7-29.

OLDEMAN, L.R. The global extent of soil de gradation. In: GREENLAND, D. J. & SZABOCLS, I. Soil Resilience and Sustainable Land Use (Eds.), Cab In ternational, Wallingford, VK. 1994, p. 99-118.

OLIVEIRA, L. C. Erosão hídrica e alguns processos hidrológicos em plantios de Pinus, Mata e Campo nativos e Estrada florestal. 2012. 93p. (Tese Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC.

OLIVEIRA, L. C.; BERTOL, ILDEGARDIS.; BARBOSA, F. T.; CAMPOS, M. L.; JUNIOR, J. M. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica em uma estrada florestal na Serra Catarinense. Ciência Florestal, Santa Maria. 25(3): 655-665, 2015.

PADUA, E. J.; GUERRA, A. R.; ZINN, Y. L. Modelagem da Densidade do Solo em Profundidade sob Vegetação Nativa em Minas Gerais. Rev. Bras. Ci. Solo, 39:725-736, 2015.

PALM, C.; BLANCO-CANQUI, H.; CLERCKC, F.; GATERE, L.; GRACE, P. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. Agriculture, Ecosystems and Environment. 2013, 20p.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; SOBRINHO, T. A.; OLIVEIRA, P. T. S. & RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. Rev. Bras. Ci. Solo, 35: 1777-1785, 2011.

PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica. Eds. Embrapa Floresta. Brasília, DF. 2015., 368p.

PIERZYNSKY, G.M., SIMS, J.T. & VANCE, G.F. Soils and environmental quality. 2.ed. New York, CRC Press, 2005. 584p.

PORFÍRIO DA SILVA, V. Produtividade em Sistema de Integração Lavoura-Pecuária - Floresta no Subtropical Brasileiro. 2012. 119 p. (Tese Doutorado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.

PREVEDELLO, C.L. Física do solo com problemas resolvidos. Curitiba. 1996., 446 p.

RACHWAL, M. F. G.; DEDECEK, R. A.; MAIA, C. M. B. F.; PARRON, L. M. Uso e manejo da terra e aspectos pedológicos na avaliação de serviços ambientais. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica. Eds. Embrapa Floresta. Brasília, DF. 2015., p. 47-60.

RAMOS, M. R. Atributos físicos e perda de solo, água e nutrientes em encostas sob sistema de produção de hortaliças convencional e orgânico. 2009. 74p. (Dissertação de Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.

RAMOS, M.R., FAVARETTO, N., DIECKOW, J., DEDECK, R.A., VEZZANI, F.M., ALMEIDA, L. & SPERRIN, M. Soil, water and nutrient loss under conventional and organic vegetable production managed in small farms versus forest system. Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics. 115:31-40, 2014.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. Solo, planta e atmosfera: Conceitos, processos e aplicações. 2.ed. Barueri: Manole. 2012., 524p.

REICHERT, J. M.; REINERT, J. M.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência & Ambiente*, 27: 29-48, 2003.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & SILVA, V.R. Compactação do solo em sistema de plantio direto: Limites críticos e mitigação. In: COUTO, E.G. & BUENO, J.F., eds. Os (des) caminhos do uso da água na agricultura brasileira. Cuiabá, UFMT, SBCS, 2004. p.167-198.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Propriedades físicas do solo. UFSM. 2006., 18p.

RESENDE AV. Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato. Documentos 57, Planaltina: Embrapa Cerrados. 2002., 29p.

REYNOLDS, W.D.; ELRICK De. Pressure infiltromete . In: *Methods of Soil Analysis: Part 4. Physical methods*. (Eds JH Dane, GC Topp). (Soil Science Society of America: Madison, WI). 2002., p. 826-8 36.

SALES, L. E. O.; FERREIRA, M. M.; OLIVEIRA, M. S.; CURI, N. Estimativa da velocidade de infiltração básica do solo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 34 (11): 2091-2095, 1999.

SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; SILVA, E. M.; SILVEIRA, P., M.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. *Pesq. Agrop. Bras.*, 46: 1339-1348, 2011.

SASAL, M. C.; CASTIGKIONI, M. G.; WILSON, M.G. Effect of crop sequences on soil properties and runoff on natural-rainfall erosion plots under no tillage. *Soil & Tillage Research*, 108: 24-29, 2010.

SEGANFREDO, M. L.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 21: 287-291, 1997.

SHARPLEY, A. N. Introduction: Agriculture as a Potential Source of Water Pollution. In: Agriculture, Hydrology and Water Quality. 2002., p. 4-5.

SHARPLEY, A. N.; McDOWELL, R. W.; KLEINMAN, J. A. Phosphorus loss from land to water: Integrating agricultural and environmental management. *Plant Soil*, 237: 287-307, 2001.

SHARPLEY, A.N.; CHAPRA, S.C.; WEDEPOHL, R.; SIMS, J.T.; DANIEL, T.C.; REDDY, K.R. Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: issue and options *J. Environ. Qual.*, 23: 437-451, 1994.

SHIGAKI, F.; SHARPLEY, A.; PROCHNOW, L. I.; Source-related transport of phosphorus in surface runoff. *J. Environ. Qual.* 35: 2229- 2235, 2006.

SILVA, A. P.; KAY, B.D. & PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range of soils. *Soil. Sc. Soc. Am. J.*, 58: 1775-1781, 1994.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; JUNIOR, M. S. D.; IMHOFF, S.; KLEIN, V. A. Indicadores da qualidade física do solo. In: *Física do Solo*. Ed. Quirijn de Jong van Lier. SBCS, Viçosa. 2010, p. 241-280.

SILVA, A.P.; LIBARD I, P.L. & CAMARGO, O.A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 10:91-95, 1986.

SILVEIRA , F. DE M.; FAVARETTO, N.; DIECKOW, J.; PAULETTI, V.; VEZZANI, F M.; SILVA, E. D. B. Dejeito líquido bovino em plantio direto: perda de carbono e nitrogênio por escoamento superficial. *Rev. Bras. Ci. Solo*. 35 (5): 1759-1768, 2011.

SKALISZ, R. Aplicação de dejeito líquido bovino a longo prazo em plantio direto: perdas de água, solo e nutrientes via escoamento superficial. 2013.41p. (Dissertação Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.

TAKEDA, I.; FUKUSHIMA, A.; SOMURA, H. Long-term trends in water quality in a under-populated watershed and influence of precipitation. *Journal of Water and Environment Technology*, 7: 4, 2009.

TIMOFIECSYK, A.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V. & DIECKOW, J. Perdas de carbono e nitrogênio com aplicação de dejetos líquido bovino em latossolo muito argiloso sob plantio direto e chuva natural. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 36: 1924-1930, 2012.

TISDALL, J. M.; OADES, L. M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. *Journal Soil Science*, 33: 141-163, 1982.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. & LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 22:573-581, 1998.

USDA-ARS. Soil quality test kit guide. Washington, Soil Quality Institute. 1998., 82 p.

VEZZANI, F. M. & MIELNICZUK, J. O Solo como Sistema. Curitiba: Ed. dos autores. 2011., 104 p.

VEZZANI, F. M. & MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 33:743-755, 2009.

VOLK, L.B.S.; COGO, N.P. & STRECK, E.V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 28:763-774, 2004.

WENDLING, B.; FREITAS, I. C. V.; OLIVEIRA, R. C.; BABATA, M. M.; BORGES, E. N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de Conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e Plantio direto. *Bioscience Journal*, 28: 256-265, 2012.

WUNDER, S. The Efficiency of Payments for Environmental Services in Tropical Conservation. *Conservation Biology*, 21: 48-58, 2007.

ZAGATTO, M. R. G. Fauna edáfica em Sistemas de Uso do Solo no Município de Ponta Grossa - PR. 2014. 68 p. (Dissertação Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.